Kingdom of Thailand

☞ EDICT OF GOVERNMENT ☜

In order to promote public education and public safety, equal justice for all, a better informed citizenry, the rule of law, world trade and world peace, this legal document is hereby made available on a noncommercial basis, as it is the right of all humans to know and speak the laws that govern them.

TIS 2202-2547 (2004) (Thai): Power cables with xlpe insulated for rated voltage from 60 kv up to 115 kv

BLANK PAGE

BRUTUM FULMEN

IGNORANTIA JURIS NON EXCUSAT

PROTECTED BY COPYRIGHT

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2202 – 2547

สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มด้วยฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 60 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์

POWER CABLES WITH XLPE INSULATED FOR RATED VOLTAGE FROM 60 kV UP TO 115 kV

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 29.060.20

ISBN 974-9816-03-X

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มด้วยฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 60 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์

มอก. 2202 – 2547

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 121 ตอนที่ 112ง

วันที่ 23 ธันวาคม พุทธศักราช 2547

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 960
มาตรฐานสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนแรงสูง

ประธานกรรมการ

นายวีรกร อ่องสกุล	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

กรรมการ

นายชาญณรงค์ บาลมงคล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นายบุญเหนือ พึ่งศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
นายนิวัฒน์ พันธุศิลปาคม	สถาบันไฟฟ้าและอิเลกทรอนิกส์
นายณัฏฐ์ นีลวัชระ	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
นายวิชชา ชาครพิพัฒน์	การไฟฟ้านครหลวง
นายไพฑูรย์ พรหมพิทักษ์	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
นายพิเชษฐ์ โล่ห์ชนะจิต	บริษัท เฟ้ลปส์ ดอด์จ ไทยแลนด์ จำกัด
นายทัตชัย แก้วการะเวก	บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด
นางนิภา สุนทรธนโสภณ	บริษัท จรุงไทยไวร์แอนด์เคเบิ้ล จำกัด (มหาชน)
นายการุณย์ สุขพณิชนันท์	บริษัท สายไฟฟ้าไทยยาซากิ จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นายเริงณรงค์ วิเวกวินย์	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สายไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าและอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอันตรายได้หากมีคุณภาพต่ำ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อสาธารณะและเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมภายในประเทศ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มด้วยฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีนสำหรับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 60 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

IEC 60228 (1978-01)	Conductors of insulated cables
IEC 60840 (1999-02)	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltage above 30 kV (Um = 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV) Test methods and requirements
มอก. 929-2533	กฎการปัดเศษ

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3296 (พ.ศ. 2547)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มด้วยฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน

สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 60 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มด้วยฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 60 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ มาตรฐานเลขที่ มอก. 2202-2547 ไว้ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547

พงษ์ศักดิ์ รักตพงศ์ไพศาล

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มด้วยฉนวน ครอสลิงกด์พอลิเอทิลีนสำหรับแรงดันไฟฟ้า ที่กำหนดตั้งแต่ 60 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดสายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มด้วยฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีนสำหรับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 60 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “สายไฟฟ้า”

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุม สายไฟฟ้าตัวนำทองแดงและอะลูมิเนียมซึ่งมีตัวนำแกนเดียว ฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน เปลือกเป็นพอลิเอทิลีนหรือพอลิไวนิลคลอไรด์ เหมาะที่จะใช้งานในท่อ ราง และฝังดินโดยตรง โดยเฉพาะต้องแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลา ไม่ครอบคลุมถึงสายไฟฟ้าชนิดพิเศษ เช่น สายไฟฟ้าที่ใช้ใต้ทะเล (submarine cable)

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน (cross-linked polyethylene compound : XLPE) หมายถึง สารประกอบพอลิเอทิลีนที่ถูกเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลจากเส้นตรงให้เกาะเกี่ยวกันเป็นร่างแห เพื่อให้มีสมบัติตามที่ต้องการ

2.2 แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (rated voltage) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยระหว่างเฟสกับเฟส

2.3 แรงดันไฟฟ้า U_o หมายถึง แรงดันไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยระหว่างเฟสกับดิน

2.4 ตัวนำ (conductor) หมายถึง ลวดทองแดงหรือลวดอะลูมิเนียมตีเกลียวซึ่งอยู่ในรูปของการตีเกลียวรวมศูนย์กลมอัดแน่น (compact round concentric lay stranding) หรือตีเกลียวแยกส่วนอัดแน่น (milliken conductor)

2.5 ตัวกั้นตัวนำ (conductor screen) หมายถึง ชั้นของสารกึ่งตัวนำ (semi-conducting) ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบที่ใช้หุ้ม และเทปที่ใช้พันทับบนตัวนำ ทำให้ผิวนอกราบเรียบสม่ำเสมอ เพื่อทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนสม่ำเสมอทุกทิศทาง และยังช่วยลดความเค้นทางแรงดันไฟฟ้า (voltage stress) ที่เกิดขึ้นด้วย

2.6 ฉนวน (insulation) หมายถึง ครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน ที่ใช้หุ้มทับบนชั้นของตัวกั้นตัวนำ มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้ารั่วออกมาทำอันตรายต่อบุคคลหรือสิ่งแวดล้อม และป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร

2.7 ตัวกั้นฉนวน (insulation screen) หมายถึง ชั้นของสารกึ่งตัวนำซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบที่ใช้หุ้ม ทำให้ผิวนอกของฉนวนราบเรียบสม่ำเสมอ เพื่อทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างฉนวนกับตัวกั้นโลหะสม่ำเสมอทุกทิศทาง และยังช่วยลดความเค้นทางแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วย

2.8 เทปสังเคราะห์ป้องกันการซึมของน้ำ (synthetic water blocking tape) หมายถึง เทปที่ทำจากสารสังเคราะห์ที่สามารถดูดซึมน้ำไว้ในตัวเทปได้ มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไปในสายไฟฟ้า และป้องกันไม่ให้ส่วนที่เป็นโลหะทำให้เกิดรอยหรือสัมผัสโดยตรงกับส่วนที่เป็นอโลหะ เทปนี้มี 2 ประเภท คือ ประเภทที่เป็นสารกึ่งตัวนำ และประเภทที่ไม่เป็นตัวนำ (non conducting)

2.9 ตัวกั้นโลหะ (metallic screen) หมายถึง ตัวกั้นที่เป็นลวดและเทปทองแดงประกอบกัน มีหน้าที่ป้องกันสนามไฟฟ้าไม่ให้เกิดอันตรายต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม และป้องกันไม่ให้ ไปรบกวนระบบอื่น ๆ และใช้เป็นสายดินต่อเข้ากับระบบสายดินของระบบไฟฟ้า

2.10 ตัวป้องกันน้ำโดยรอบ (radial water barrier) หมายถึง เทปอะลูมิเนียมที่เคลือบด้วยสารประกอบทั้งสองด้าน ใช้พันหรือห่อบนสายไฟฟ้าใต้ชั้นของเปลือกนอก ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนสารประกอบที่เคลือบไว้ทั้งสองด้านบนส่วนที่ซ้อนทับกันจะละลายติดกัน มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าสาย ไฟฟ้า

2.11 เปลือก (sheath) หมายถึง สารประกอบพอลิเอทิลีนหรือพอลิไวนิลคลอไรด์ใช้หุ้มชั้นนอกสุดของสายไฟฟ้า ป้องกันแรงกระแทก เสียดสี และทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

2.12 ค่าที่ระบุ (nominal value) หมายถึง ค่าต่าง ๆ ที่กำหนดและใช้แสดงในตาราง

2.13 ค่ามัธยฐาน (median value) หมายถึง ค่าตรงกลางถ้าจำนวนค่าทั้งหมดเป็นเลขคี่ หรือหมายถึงค่าเฉลี่ยของค่าตรงกลาง 2 ค่า ถ้าจำนวนค่าทั้งหมดเป็นเลขคู่ เมื่อค่าที่ได้จากผลการทดสอบมีหลายจำนวนและเรียงตามจากมากไปหาน้อย หรือน้อยไปหามาก

2.14 การทดสอบประจำของสายไฟฟ้า (routine test on cable) หมายถึง การทดสอบที่ทำโดยผู้ผลิตบนความยาวของสายไฟฟ้าที่ผลิตแต่ละเส้น เพื่อตรวจสอบว่าตลอดความยาวของสายไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตแต่ละเส้นเป็นไปตามข้อกำหนด

2.15 การทดสอบตัวอย่างของสายไฟฟ้า (sample test on cable) หมายถึง การทดสอบที่ทำโดยผู้ผลิตบนตัวอย่างของสายไฟฟ้าสำเร็จรูปแต่ละตัวอย่าง หรือส่วนประกอบที่ได้มาจากสายไฟฟ้าสำเร็จรูป เพื่อทวนสอบว่าผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเป็นไปตามข้อกำหนด

2.16 การทดสอบเฉพาะแบบ (type test) หมายถึง การทดสอบที่ทำก่อนนำผลิตภัณฑ์สู่ท้องตลาด เพื่อแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสมบัติเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งต้องการการทดสอบที่สมบูรณ์เป็นหลักฐานเพียงครั้งเดียว โดยไม่ต้องทดสอบซ้ำ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในวัสดุประกอบของสายไฟฟ้า หรือการออกแบบ หรือกระบวนการผลิต ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

3. ประเภท

สายไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด คือ

3.1 ประเภทใช้กับพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์

3.2 ประเภทใช้กับพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์

4. ขนาด

4.1 ขนาดและรายละเอียดของสายไฟฟ้า ให้เป็นตามที่กำหนดในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

ตารางที่ 1 สายไฟฟ้าตัวนำทองแดงพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์

(ข้อ 4.1)

พื้นที่หน้าตัดระบุ	mm^2	400	500	630	800	1000	1200
จำนวนเส้นลวดในตัวนำ ต่ำสุด	เส้น	53	53	53	53	53	–
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ	mm	23.4	26.7	30.2	34.0	40.0	43.0
ความหนาของตัวกั้นตัวนำ	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ความหนาของฉนวน	mm	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางหลังหุ้มฉนวน	mm	48 ถึง 52	51 ถึง 55	55 ถึง 58	59 ถึง 62	64 ถึง 67	67 ถึง 73
ความหนาของตัวกั้นฉนวน	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของตัวกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	mm^2	95	95	95	95 หรือ 120	120	120
จำนวนเส้นลวดของตัวกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	เส้น	50	50	50	50	70	70
ความหนาเฉลี่ยของเทปอะลูมิเนียมในตัวป้องกันน้ำโดยรอบ ต่ำสุด	mm	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
ความหนาของเปลือก (ไม่รวมสัน)	mm	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า (ไม่รวมสัน)	mm	65 ถึง 70	68 ถึง 73	72 ถึง 77	76 ถึง 81	81 ถึง 86	84 ถึง 92
ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำที่ $20^{\circ}C$ สูงสุด	Ω/km	0.0470	0.0366	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151

ตารางที่ 2 สายไฟฟ้าตัวนำทองแดงพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์
(ข้อ 4.1)

พื้นที่หน้าตัดระบุ	mm^2	400	500	630	800	1000	1200
จำนวนเส้นลวดในตัวนำ ต่ำสุด	เส้น	53	53	53	53	53	-
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ	mm	23.4	26.7	30.2	34.0	40.0	43.0
ความหนาของตัวกั้นตัวนำ	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ความหนาของฉนวน	mm	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางหลังหุ้มฉนวน	mm	59 ถึง 62	62 ถึง 65	65 ถึง 68	69 ถึง 72	75 ถึง 78	77 ถึง 83
ความหนาของตัวกั้นฉนวน	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของตั้วกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	mm^2	95	95	95	95 หรือ 120	120	120
จำนวนเส้นลวดของตัวกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	เส้น	50	50	50	70	70	70
ความหนาเฉลี่ยของเทปอะลูมิเนียม ในตัวป้องกันน้ำโดยรอบ ต่ำสุด	mm	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
ความหนาของเปลือก (ไม่รวมสัน)	mm	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.8
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า (ไม่รวมสัน)	mm	76 ถึง 81	79 ถึง 84	83 ถึง 88	86 ถึง 91	92 ถึง 97	93 ถึง 101
ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำที่ 20 $^{\circ}C$ สูงสุด	Ω/km	0.0470	0.0366	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151

ตารางที่ 3 สายไฟฟ้าตัวนำอะลูมิเนียมพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์
(ข้อ 4.1)

พื้นที่หน้าตัดระบุ	mm^2	400	500	630	800	1000	1200
จำนวนเส้นลวดในตัวนำ ต่ำสุด	เส้น	53	53	53	53	53	-
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ	mm	23.4	26.7	30.2	34.0	40.0	43.0
ความหนาของตัวกั้นตัวนำ	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ความหนาของฉนวน	mm	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางหลังหุ้มฉนวน	mm	48 ถึง 52	51 ถึง 55	55 ถึง 58	59 ถึง 62	64 ถึง 67	67 ถึง 73
ความหนาของตัวกั้นฉนวน	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของตัวกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	mm^2	95	95	95	95 หรือ 120	120	120
จำนวนเส้นลวดของตัวกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	เส้น	50	50	50	50	70	70
ความหนาเฉลี่ยของเทปอะลูมิเนียม ในตัวป้องกันน้ำโดยรอบ ต่ำสุด	mm	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
ความหนาของเปลือก (ไม่รวมสัน)	mm	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า (ไม่รวมสัน)	mm	65 ถึง 70	68 ถึง 73	72 ถึง 77	76 ถึง 81	81 ถึง 86	84 ถึง 92
ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำที่ 20 $^{\circ}C$ สูงสุด	Ω/km	0.0778	0.0605	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247

ตารางที่ 4 สายไฟฟ้าตัวนำอะลูมิเนียมพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์
(ข้อ 4.1)

พื้นที่หน้าตัดระบุ	mm^2	400	500	630	800	1000	1200
จำนวนเส้นลวดในตัวนำ ต่ำสุด	เส้น	53	53	53	53	53	–
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ	mm	23.4	26.7	30.2	34.0	40.0	43.0
ความหนาของตัวกั้นของตัวนำ	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ความหนาของฉนวน	mm	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางหลังหุ้มฉนวน	mm	59 ถึง 62	62 ถึง 65	65 ถึง 68	69 ถึง 72	75 ถึง 78	77 ถึง 83
ความหนาของตัวกั้นของฉนวน	mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของตัวกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	mm^2	95	95	95	95 หรือ 120	120	120
จำนวนเส้นลวดของตัวกั้นลวดทองแดง ต่ำสุด	เส้น	50	50	50	70	70	70
ความหนาเฉลี่ยของเทปอะลูมิเนียม ในตัวป้องกันน้ำโดยรอบ ต่ำสุด	mm	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
ความหนาของเปลือก (ไม่รวมสัน)	mm	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.8
ช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า (ไม่รวมสัน)	mm	76 ถึง 81	79 ถึง 84	83 ถึง 88	86 ถึง 91	92 ถึง 97	93 ถึง 101
ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำที่ 20°C สูงสุด	Ω/km	0.0778	0.0605	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247

5. วัสดุและการทำ

5.1 ตัวนำ

5.1.1 ตัวนำต้องเป็นทองแดงอบอ่อนหรืออะลูมิเนียม มีโครงสร้างแบบตีเกลียวรวมศูนย์กลมอัดแน่นหรือตีเกลียวแยกส่วนอัดแน่น เป็นไปตาม IEC 60228

5.2 ตัวกั้นตัวนำ

5.2.1 ความหนาเฉลี่ยของตัวกั้นตัวนำ ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุใน ตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

5.2.2 ความหนาต่ำสุดของตัวกั้นตัวนำ ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

5.3 ฉนวน

5.3.1 ฉนวนต้องเป็นครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน ไม่มีคาร์บอนแบล็ก โดยหุ้มพร้อมกันกับชั้นตัวกั้นตัวนำ และชั้นตัวกั้นฉนวน

5.3.2 กระบวนการบ่มต้องเป็นแบบแห้ง (dry curing process) ห้ามบ่มด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำ

5.3.3 ความหนาเฉลี่ยของฉนวน ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

5.3.4 ความหนาต่ำสุดของฉนวนต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของค่า ที่ระบุในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 และจุดเยื้องศูนย์ ไม่มากกว่า 0.12 ซึ่งวัดจากหน้าตัดเดียวกันของฉนวน คำนวณได้จากสูตร

$$\frac{t_{max} - t_{min}}{t_{max}}$$

เมื่อ

t_{max} คือ ความหนาสูงสุด เป็น มิลลิเมตร

t_{min} คือ ความหนาต่ำสุด เป็น มิลลิเมตร

5.4 ตัวกั้นฉนวน

5.4.1 ความหนาเฉลี่ยของตัวกั้นฉนวน ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

5.4.2 ความหนาต่ำสุดของตัวกั้นฉนวน ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

5.5 เทปสังเคราะห์ประเภทที่เป็นสารกึ่งตัวนำสำหรับใช้ป้องกันการซึมของน้ำ

5.5.1 เทปสังเคราะห์ประเภทที่เป็นสารกึ่งตัวนำสำหรับใช้ป้องกันการซึมของน้ำ ต้องใช้รองใต้ตัวกั้นโลหะ เพื่อใช้เป็นตัวป้องกันน้ำซึมตลอดความยาวของสายไฟฟ้า

5.5.2 เทปนี้ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุประกอบอื่น ๆ ของสายไฟฟ้า และไม่ทำให้เกิดการเป็นสนิมกับชั้นที่เป็นโลหะที่อยู่ติดกัน

5.6 ตัวกั้นโลหะ

5.6.1 ตัวกั้นโลหะต้องเป็นลวดและเทปทองแดงประกอบกัน ซึ่งลวดทองแดงต้องตีเกลียวรอบแกนของสายไฟฟ้าและพันทับด้วยเทปสัมผัสที่ทำด้วยทองแดง โดยมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าตลอดความยาวของสายไฟฟ้า

5.6.2 พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดและจำนวนเส้นลวดต่ำสุดของตัวกั้นโลหะ ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

5.7 เทปสังเคราะห์ประเภทที่ไม่เป็นตัวนำสำหรับใช้ป้องกันการซึมของน้ำและกันกระแทก

5.7.1 เทปสังเคราะห์ประเภทที่ไม่เป็นตัวนำสำหรับใช้ป้องกันการซึมของน้ำ ต้องพันบนตัวกั้นโลหะ เพื่อใช้เป็นตัวป้องกันน้ำซึมตลอดความยาวของสายไฟฟ้า

5.7.2 ความหนาของเทปต้องมากพอที่จะรับการขยายตัวจากความร้อน เป็นชั้นกันกระแทกและยืดตัวจากการโค้งงอของสายไฟฟ้า

5.7.3 เทปนี้ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุประกอบอื่น ๆ ของสายไฟฟ้า และไม่ให้เกิดสนิมกับชั้นที่เป็นโลหะที่อยู่ติดกัน

5.8 ตัวป้องกันน้ำโดยรอบ

5.8.1 เพื่อป้องกันการแทรกซึมของน้ำโดยรอบ จะต้องมีชั้นกั้นขวางการแทรกซึมของน้ำอยู่ใต้ชั้นเปลือกนอกซึ่งประกอบด้วยแผ่นเทปอะลูมิเนียมที่มีความหนาเฉลี่ยตามตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 ทั้งสองด้านของเทปอะลูมิเนียมถูกเคลือบด้วยพอลิเอทิลีน หรือโพลิเมอร์ร่วมที่ใช้กรดเอทิลีนอะคริลิกเป็นตัวประสาน (ethylene acrylic acid adhesive co-polymer)

5.9 เปลือก

5.9.1 เปลือกต้องเป็นสารประกอบพอลิเอทิลีนเอสที 7 (ST_7) หรือพอลิไวนิลคลอไรด์เอสที 2 (ST_2) สำหรับใช้กับสายไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิตัวนำสูงสุด 90 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะใช้งานปกติ

5.9.2 ในกรณีที่เปลือกเป็นแบบมีสัน ความกว้างของยอดสัน ความลึก และระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของยอดสันให้เป็นตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

5.9.3 ความหนาเฉลี่ยของเปลือก (ไม่รวมสัน) ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

5.9.4 ความหนาต่ำสุดของเปลือก (ไม่รวมสัน) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 คุณลักษณะที่ต้องทดสอบประจำของสายไฟฟ้า

6.1.1 การปล่อยประจุบางส่วน (partial discharge)

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.2 แล้ว การปล่อยประจุบางส่วนที่ $1.5U_o$ ต้องไม่เกิน 10 พิโคคูลอมบ์

6.1.2 ความทนทานไฟฟ้าของสายไฟฟ้า

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.3 สายไฟฟ้าต้องไม่เสียสภาพฉับพลัน

6.1.3 ความทนทานไฟฟ้าของเปลือก

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.4 เปลือกต้องไม่เสียสภาพฉับพลัน

6.2 คุณลักษณะที่ต้องทดสอบตัวอย่างของสายไฟฟ้า

6.2.1 ลักษณะตัวนำ ขนาดและความหนาของชั้นต่าง ๆ เมื่อทดสอบตามข้อ 10.5 ข้อ 10.6 ข้อ 10.7 และข้อ 10.8 แล้ว จำนวนเส้นลวดในตัวนำต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำให้เป็นตามที่ระบุในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ 1 สำหรับสายไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เกิน 800 ตารางมิลลิเมตร และสายไฟฟ้าที่มีขนาดเกิน 800 ตารางมิลลิเมตร ให้เป็นตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายแต่ไม่เกิน ± ร้อยละ 2 ความหนาของชั้นต่าง ๆ แต่ละชั้นต้องเป็นตามที่ระบุในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

6.2.2 ความต้านทานของตัวนำ (conductor resistance)

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.9 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำสูงสุดที่ 20 องศาเซลเซียส ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

6.2.3 ความยืดตัวของฉนวนเมื่อได้รับความร้อน (hot set)

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.10 ความยืดของฉนวนเมื่อได้รับความร้อนและมีน้ำหนักถ่วง ต้องมีค่าสูงสุดไม่เกินร้อยละ 175 และการยืดตัวหลังจากปล่อยให้เย็นตัวและไม่มีน้ำหนักถ่วง ต้องมีค่าสูงสุดไม่เกินร้อยละ 15

6.2.4 ความจุไฟฟ้า (capacitance)

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.11 แล้ว ความจุไฟฟ้าที่วัดได้ ต้องไม่เกินร้อยละ 8 ของค่าระบุที่แจ้งโดยผู้ผลิต

6.3 คุณลักษณะที่ทดสอบเฉพาะแบบ

6.3.1 คุณลักษณะที่ทดสอบเฉพาะแบบทางไฟฟ้า

6.3.1.1 การปล่อยประจุบางส่วนที่ได้หลังจากทดสอบความโค้งงอ (bending followed by partial discharge)

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.12 แล้วการปล่อยประจุบางส่วนที่ $1.5U_o$ ต้องไม่เกิน 5 พิโคคูลอมป์

6.3.1.2 ตัวประกอบพลังงานสูญเปล่า (tan δ)

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.13 แล้ว ค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน 0.001

6.3.1.3 ความทนทานไฟฟ้า ขณะเกิดวัฏจักรการให้ความร้อน (heating cycle voltage test)

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.14 แล้ว หากมีการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วน ค่าการปล่อยประจุบางส่วนที่วัดได้ที่ $1.5U_o$ ต้องไม่เกิน 5 พิโคคูลอมบ์ หรือหากยังไม่ทดสอบการปล่อยประจุบางส่วน ในขั้นตอนนี้ให้ทดสอบภายหลังจากความทนทานไฟฟ้าหลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ได้ตามข้อ 10.15

6.3.1.4 ความทนทานไฟฟ้าหลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.15 แล้ว สายไฟฟ้าจะต้องไม่เสียสภาพโดยฉับพลัน หากชิ้นตัวอย่างยังไม่ได้ทดสอบการปล่อยประจุบางส่วน หลังจากทดสอบตามข้อ 10.14 ให้ทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนเพิ่มเติมโดยค่าการปล่อยประจุบางส่วนที่วัดได้ที่ $1.5U_0$ ต้องไม่เกิน 5 พิโคคูลอมบ์

6.3.1.5 สภาพต้านทานของตัวกั้นที่เป็นสารกึ่งตัวนำเมื่อทดสอบตามข้อ 10.16 แล้ว ค่าความต้านทานของตัวกั้นเป็นดังนี้

ตัวกั้นตัวนำ ต้องไม่เกิน 1 000 โอห์ม.เมตร

ตัวกั้นฉนวน ต้องไม่เกิน 500 โอห์ม.เมตร

6.3.2 คุณลักษณะที่ทดสอบเฉพาะแบบที่ไม่ใช่ทางไฟฟ้า

6.3.2.1 โครงสร้างของสายไฟฟ้า

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.5 ข้อ 10.6 และข้อ 10.7 แล้ว ค่าที่ได้ต้องเป็นตามตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4 และตามข้อ 5.1 ถึงข้อ 5.9

6.3.2.2 ฉนวนและเปลือก

(1) ความต้านแรงดึงและความยืดของฉนวนก่อนและหลังเร่งอายุใช้งาน

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.17 แล้ว ค่ามัธยฐาน และ/หรือค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านแรงดึง และความยืด ให้เป็นตามที่กำหนดในตารางที่ 5

(2) ความต้านแรงดึงและความยืดของเปลือกก่อนและหลังเร่งอายุใช้งาน

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.18 แล้ว ค่ามัธยฐาน และ/หรือค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านแรงดึง และความยืด ให้เป็นตามที่กำหนดในตารางที่ 5

6.3.2.3 ความเข้ากันได้ของวัสดุประกอบของสายไฟฟ้า

นำชิ้นตัวอย่างจากสายไฟฟ้าไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 168 ชั่วโมง เมื่อทดสอบตามข้อ 10.19 แล้ว ค่ามัธยฐาน และ/หรือค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านแรงดึงและความยืดของฉนวนและเปลือก ก่อนและหลังเร่งอายุใช้งาน ให้เป็นตามข้อ 6.3.2.2

6.3.2.4 การเปลี่ยนรูปขณะที่มีแรงกดที่อุณหภูมิสูงของเปลือก

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.20 แล้ว ค่ามัธยฐานของความลึกที่รอยกดต้องไม่เกินร้อยละ 50 ของความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ

6.3.2.5 ความยืดตัวเมื่อได้รับความร้อนของฉนวน

ให้เป็นตามข้อ 6.2.3

6.3.2.6 ปริมาณคาร์บอนแบล็กในเปลือกพอลิเอทิลีน

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.21 แล้วปริมาณคาร์บอนแบล็กต้องเป็นตามที่กำหนดในตารางที่ 5

6.3.2.7 การหดตัวของฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.22 แล้ว การหดตัวสูงสุดต้องไม่เกินร้อยละ 4

6.3.2.8 การซึมของน้ำ

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.23 แล้ว ระหว่างการทดสอบจะต้องไม่มีน้ำไหลออกมาจากชิ้นทดสอบ

6.3.2.9 การสูญเสียมวลของเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์
เมื่อทดสอบตามข้อ 10.24 แล้ว ค่าที่ได้ให้เป็นตามตารางที่ 5

6.3.2.10 ความทนต่อการช็อกด้วยความร้อนของเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์
เมื่อทดสอบตามข้อ 10.25 แล้ว เปลือกต้องไม่แตกราน

ตารางที่ 5 คุณลักษณะทางกลและคุณลักษณะเฉพาะของฉนวนและเปลือก
(ข้อ 6.3.2.2 ข้อ 6.3.2.6 และข้อ 6.3.2.9)

รายละเอียด	หน่วย	ชนิดของฉนวน	ชนิดของเปลือก	
		XLPE	PVC (ST_2)	PE (ST_7)
ก่อนอบเร่งอายุการใช้งาน				
ความต้านแรงดึง ต่ำสุด	N/mm^2	12.5	12.5	12.5
ความยืดจนขาด ต่ำสุด	%	200	150	300
หลังอบเร่งอายุการใช้งาน				
การอบ - อุณหภูมิที่ใช้อบ	^{o}C	135	100	110
- เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	^{o}C	$\pm$ 3	$\pm$ 2	$\pm$ 2
- ระยะเวลาที่ใช้อบ	d	7	7	10
ความต้านแรงดึง				
- ต่ำสุดหลังอบเร่งอายุใช้งาน	N/mm^2	-	12.5	-
- ความเปลี่ยนแปลง	%	$\pm$ 25	$\pm$ 25	-
ความยืดจนขาด				
- ต่ำสุดหลังอบเร่งอายุใช้งาน	%	-	150	300
- ความเปลี่ยนแปลง	%	$\pm$ 25	$\pm$ 25	-
การทดสอบแรงกดที่อุณหภูมิสูง				
อุณหภูมิที่ทดสอบ	^{o}C	-	90	110
เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	^{o}C	-	$\pm$ 2	$\pm$ 2
ปริมาณคาร์บอนแบล็ก				
ค่าที่ระบุ	%	-	-	2.5
เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	%	-	-	$\pm$ 0.5
การสูญเสียมวลของเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์				
การอบ - อุณหภูมิที่ใช้อบ	^{o}C	-	100	-
- เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	^{o}C	-	$\pm$ 2	-
- ระยะเวลาที่ใช้อบ	d	-	7	-
การสูญเสียมวลสูงสุดที่ยอมรับได้	mg/cm^2	-	1.5	-

7. การบรรจุ

7.1 การปิดปลายสายไฟฟ้า

7.1.1 หลังจากผู้ผลิตได้ทดสอบสายไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว ปลายสายไฟฟ้าด้านในต้องทาด้วยซิลิโคนหรือเทียบเท่า เพื่อป้องกันความชื้นและครอบด้วยปลอกพีวีซีหรือเทียบเท่า และปลายด้านนอกต้องต่อกับตัวที่ใช้ในการลากสายไฟฟ้า (pulling eye) ป้องกันน้ำได้ ซึ่งสามารถทนแรงดึงได้เพียงพอ สันที่เปลือกจะต้องเอาออกก่อนที่จะปิดปลายสายไฟฟ้า

7.2 การบรรจุสายไฟฟ้า

7.2.1 สายไฟฟ้าต้องบรรจุบนล้อเหล็กหรือล้อไม้ที่มีความแข็งแรงเพียงพอโดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนล้อ หรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่จำเป็น ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

7.2.2 ล้อบรรจุสายไฟฟ้าจะต้องมีแกนกลม และต้องปิดหรือห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แข็งแรง ป้องกันไม่ให้สายไฟฟ้าเกิดความเสียหาย มีแผ่นเหล็กที่มีรูปร่างกลม สี่เหลี่ยม หรือหกเหลี่ยม ที่มีความหนาเหมาะสม ติดไว้ที่รูเพลาหมุนของปีกล้อ แผ่นเหล็กนี้จะเจาะรูสำหรับสอดแกนเหล็กถาวร

7.2.3 ความยาวของสายไฟฟ้าที่บรรจุในแต่ละล้อ ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

8. การทำเครื่องหมายและฉลาก

8.1 ที่สายไฟฟ้าทุกหน่วยบรรจุ ทุกระยะช่วงห่างไม่เกิน 500 มิลลิเมตร อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายบนสายไฟฟ้า หรือบนเทปซึ่งสอดไว้ระหว่างตัวป้องกันน้ำโดยรอบและชั้นป้องกันการซึมของน้ำชั้นนอก แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และไม่ลบเลือน

(1) แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

(2) ชนิดของตัวนำ

(3) ชนิดของฉนวนและเปลือก

(4) พื้นที่หน้าตัดระบุ

(5) ปีที่ผลิต

(6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

8.2 ที่หน่วยบรรจุเป็นล้อ อย่างน้อยต้องมี เลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และไม่ลบเลือน

(1) แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

(2) ชนิดของตัวนำ

(3) ชนิดของฉนวนและเปลือก

(4) พื้นที่หน้าตัดระบุ

(5) น้ำหนักสุทธิ และน้ำหนักรวม เป็นกิโลกรัม

(6) ปีที่ผลิต

(7) มีลูกศรแสดงทิศทางการหมุนของล้อ และตำแหน่งปลายสาย

(8) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

8.3 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

9. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

9.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง สายไฟฟ้าประเภท ตาราง ชนิดของตัวนำ ชนิดของฉนวนและเปลือก พื้นที่หน้าตัดระบุเดียวกัน ที่ทำในคราวเดียวโดยต่อเนื่องหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลา เดียวกัน

9.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

9.2.1 การชักตัวอย่าง

ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จากล้อบรรจุในแต่ละรุ่น ให้ได้ตัวอย่างเพียงพอสำหรับการทดสอบ

9.2.2 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 5. ข้อ 6. และ ข้อ 8. ทุกรายการ จึงจะถือว่าสายไฟฟ้ารุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

10. การทดสอบ

10.1 ภาวะและเงื่อนไขการทดสอบ

10.1.1 อุณหภูมิโดยรอบ

หากมิได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่นในรายละเอียดสำหรับการทดสอบเฉพาะ ให้ทดสอบที่อุณหภูมิโดยรอบ 20 องศาเซลเซียส ± 15 องศาเซลเซียส

10.1.2 ความถี่และรูปแบบคลื่นแรงดันไฟฟ้าทดสอบความถี่กำลัง

ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าทดสอบกระแสสลับต้องอยู่ในช่วง 49 เฮิรตซ์ ถึง 61 เฮิรตซ์ รูปแบบคลื่นต้องเป็นรูปคลื่นไซน์ ค่าที่ใช้คือค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย

10.1.3 รูปแบบคลื่นแรงดันไฟฟ้าทดสอบอิมพัลส์

เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60230 คลื่นอิมพัลส์ต้องมีเวลาหน้าคลื่นระหว่าง 1 ไมโครวินาที ถึง 5 ไมโครวินาที และเวลาหลังคลื่นระหว่าง 40 ไมโครวินาที ถึง 60 ไมโครวินาที ในกรณีอื่นที่เกี่ยวข้องกับคลื่นอิมพัลส์ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60060-1

10.1.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าทดสอบกับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ให้เป็นตาม IEC 60840

10.1.5 การทดสอบเฉพาะแบบทางไฟฟ้า ให้ปฏิบัติการทดสอบเรียงตามลำดับตั้งแต่ข้อ 10.12 ถึงข้อ 10.15

10.2 การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วน

10.2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดสอบและการกำหนดสมบัติเฉพาะของวงจรทดสอบ ให้เป็นตาม IEC 60885-3 ยกเว้นความไวที่กำหนดไว้ใน IEC 60885-3 ต้องเท่ากับ 10 พิโคคูลอมบ์หรือดีกว่า

10.2.2 วิธีทดสอบ

สายไฟฟ้าที่จะทดสอบตามประเภทและวงจรทดสอบ ให้เป็นไปตาม IEC 60885-3

10.2.2.1 จ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบระหว่างตัวนำและตัวกั้นโลหะ โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าอย่างช้า ๆ จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ $1.75U_o$ และคงแรงดันทดสอบเป็นเวลา 10 วินาที

10.2.2.2 หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดแรงดันไฟฟ้าทดสอบจนเหลือเท่ากับ $1.5U_o$

10.2.2.3 วัดค่าการปล่อยประจุบางส่วน

10.2.3 การรายงานผล

ให้รายงานค่าการปล่อยประจุบางส่วนที่วัดได้ เป็นพิโคคูลอมบ์

10.3 การทดสอบความทนทานไฟฟ้าของสายไฟฟ้า

10.3.1 เครื่องมือ

เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายความถี่กำลัง (power frequency) ครอบคลุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

10.3.2 วิธีทดสอบ

10.3.2.1 จ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบระหว่างตัวนำและตัวกั้นโลหะ โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าอย่างช้า ๆ จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 2.5U_o

10.3.2.2 คงแรงดันทดสอบตามข้อ 10.3.2.1 เป็นเวลา 30 นาที สายไฟฟ้าจะต้องไม่เสียหายโดยฉับพลัน

10.3.3 การรายงานผล

ให้รายงานว่าผ่าน หรือไม่ผ่าน

10.4 การทดสอบความทนทานไฟฟ้าของเปลือก

10.4.1 เครื่องมือ

เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายความถี่กำลัง ครอบคลุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

10.4.2 วิธีทดสอบ

10.4.2.1 โดยวิธีทดสอบความทนทานไฟฟ้า

จ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบกระแสตรง 8 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตรของความหนาเปลือกระบุ เป็นเวลา 1 นาที โดยแรงดันไฟฟ้าทดสอบสูงสุดไม่เกิน 25 กิโลโวลต์ ชั้นตัวนำด้านนอกอาจประกอบด้วยการเคลือบเปลือกด้วยแกรไฟต์ หรือแช่น้ำระหว่างทดสอบ

10.4.2.2 โดยวิธีสปาร์ก

ต่อตัวกั้นโลหะลงดินสำหรับการทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ หรือต่อเข้าขั้วลบในกรณีจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบกระแสสลับ 6 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตรของความหนาเปลือกระบุ หรือ จ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบกระแสตรง 9 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตรของความหนาเปลือกระบุ เป็นเวลา 1 นาที โดยแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 15 กิโลโวลต์และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ

10.4.3 การรายงานผล

ให้รายงานว่าใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบเท่าใด และผ่าน หรือไม่ผ่าน

10.5 การตรวจสอบตัวนำ

10.5.1 เครื่องมือ

ไมโครมิเตอร์ หรือเวอร์เนียคาลิเปอร์ ที่วัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

10.5.2 วิธีทดสอบ

10.5.2.1 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่หน้าตัดเดียวกัน ในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน

10.5.2.2 นับจำนวนเส้นลวด

10.5.3 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ เป็นค่าเฉลี่ย และจำนวนเส้นลวด

10.6 การตรวจสอบความหนาของฉนวน

10.6.1 เครื่องมือ

กล้องจุลทรรศน์ หรือเครื่องฉายหน้าตัดข้าง (profile projector) ที่มีกำลังขยายอย่างน้อย 10 เท่า และวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ในกรณีที่มีข้อสงสัยให้ใช้การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีอ้างอิง

10.6.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างจากปลายด้านหนึ่งของสายไฟฟ้า ปอกสิ่งห่อหุ้มภายนอกออกไม่ให้ฉนวนเสียหาย ด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม ถ้าตัวกั้นตัวนำและฉนวนเป็นแบบติดกันก็ไม่ต้องเอาออก ตัดฉนวนเป็นแผ่นบางตามระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกนของตัวนำ ถ้าการทำเครื่องหมายบนฉนวนเป็นเหตุให้ความหนาส่วนนั้นลดลง ให้ใช้ฉนวนตรงที่มีเครื่องหมายนั้นเป็นชิ้นทดสอบ

10.6.3 วิธีทดสอบ

10.6.3.1 ถ้าผิวภายในและภายนอกของชิ้นทดสอบเป็นวงกลมเรียบสม่ำเสมอ ให้วัดความหนา 6 ครั้ง ที่ระยะตามแนวเส้นรอบวงเท่า ๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 1

10.6.3.2 ถ้าผิวภายในของชิ้นทดสอบไม่เรียบแต่ผิวภายนอกเรียบ ให้วัดความหนา 6 ครั้ง ตามรูปที่ 2 ในกรณีข้อ 10.6.3.1 และข้อ 10.6.3.2 จุดแรกที่วัดต้องเป็นจุดที่ความหนาฉนวนต่ำสุด

10.6.3.3 ในกรณีที่ตัวกั้นของตัวนำและฉนวนไม่สามารถแยกออกได้ การวัดจะไม่รวมความหนาของตัวกั้น

10.6.3.4 ให้วัดความหนาสูงสุดของฉนวน

10.6.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยจาก 6 ค่า ความหนาของฉนวนต่ำสุด ความหนาของฉนวนสูงสุด และความแตกต่างระหว่างความหนาของฉนวนต่ำสุด กับความหนาของฉนวนสูงสุดที่วัดได้ ซึ่งได้จากชิ้นทดสอบ โดยคิดทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วปัดเศษเหลือทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตาม มอก. 929

10.7 การตรวจสอบความหนาของเปลือก

10.7.1 เครื่องมือ

กล้องจุลทรรศน์ หรือเครื่องฉายหน้าตัดข้าง ที่มีกำลังขยายอย่างน้อย 10 เท่า และวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ในกรณีที่มีข้อสงสัยให้ใช้การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีอ้างอิง

10.7.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างจากปลายด้านหนึ่งของสายไฟฟ้า ปอกสิ่งต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอก ไม่ให้เปลือกเสียหายด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม ตัดเปลือกเป็นแผ่นบางตามระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกนของสายไฟฟ้า ถ้าการทำเครื่องหมายบนเปลือกเป็นเหตุให้ความหนาส่วนนั้นลดลง ให้ใช้เปลือกตรงที่มีเครื่องหมายนั้นเป็นชิ้นทดสอบ

10.7.3 วิธีทดสอบ

10.7.3.1 ถ้าผิวภายในและภายนอกของชิ้นทดสอบเป็นวงกลมเรียบสม่ำเสมอ ให้วัดความหนา 6 ครั้ง ที่ระยะตามแนวเส้น รอบวงเท่า ๆกัน ตามรูปที่ 1

10.7.3.2 ถ้าผิวภายในซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นวงกลม ไม่สม่ำเสมอหรือไม่เรียบ ให้วัดความหนา 6 ครั้ง ที่เปลือกต่ำสุด ตามรูปที่ 2

10.7.3.3 ถ้าผิวภายในและภายนอกซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นวงกลมไม่สม่ำเสมอหรือไม่เรียบ ให้วัดความหนา 6 ครั้ง ที่เปลือกต่ำสุด ตามรูปที่ 3

ในกรณี ข้อ 10.7.3.1 ข้อ 10.7.3.2 และข้อ 10.7.3.3 จุดแรกที่วัดต้องเป็นจุดที่ความหนาเปลือกต่ำสุด

10.7.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยของความหนาของเปลือกจาก 6 ค่า ซึ่งได้จากชิ้นทดสอบโดยคิดทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วปัดเศษเหลือทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตาม มอก. 929

10.8 การตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า

10.8.1 เครื่องมือ

เครื่องฉายหน้าตัดข้าง ที่มีกำลังขยายไม่น้อยกว่า 10 เท่า หรือเครื่องมือที่วัดได้ 2 ทิศทางในแนวตั้งฉากกัน วัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

10.8.2 วิธีทดสอบ

10.8.2.1 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้าที่หน้าตัดเดียวกัน ในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน

10.8.3 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้าเป็นค่าเฉลี่ย

10.9 การทดสอบความต้านทานกระแสตรงของตัวนำ

10.9.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบความต้านทานกระแสตรงของตัวนำ ที่สามารถวัดได้ครอบคลุมความต้านทานตัวนำในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

10.9.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้าหรือตัวอย่างที่มีความยาวอย่างน้อย 1 เมตร ก่อนวัดความต้านทานต้องเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องทดสอบอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ถ้าสงสัยว่าอุณหภูมิตัวนำจะไม่เท่ากับอุณหภูมิห้องทดสอบ ให้ทดสอบได้หลังจากสายไฟฟ้าอยู่ในห้องทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

10.9.3 วิธีทดสอบ

10.9.3.1 วัดความต้านทานตัวนำที่อุณหภูมิห้องทดสอบ และคำนวณความต้านทาน ต่อ 1 กิโลเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากสูตร

ถ้าตัวนำเป็นทองแดง

$$R_{20} = R_t \frac{254.5}{(234.5 + t)} \times \frac{1000}{L}$$

ถ้าตัวนำเป็นอะลูมิเนียม

$$R_{20} = R_t \frac{248}{(228 + t)} \times \frac{1000}{L}$$

เมื่อ R_{20} คือ ความต้านทานของตัวนำ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นโอห์มต่อกิโลเมตร

R_t คือ ความต้านทานของสายไฟฟ้ายาว L เมตร ที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส เป็นโอห์ม

t คือ อุณหภูมิของตัวอย่างสายไฟฟ้าขณะที่วัดเป็นองศาเซลเซียส

L คือ ความยาวของตัวอย่างสายไฟฟ้า เป็นเมตร

10.9.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความต้านทานกระแสตรง เป็นโอห์มต่อกิโลเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส

10.10 การทดสอบความยืดตัวของฉนวนเมื่อได้รับความร้อน

10.10.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบให้เป็นตามมาตรฐาน IEC 60811-1-2 และIEC 60811-2-1

10.10.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบ 2 ชิ้น ของฉนวนจากตัวอย่างโดยแยกตัวกั้นออกด้วยตามแนวแกน ขัดหรือตัดชิ้นทดสอบจนผิวทั้งสองด้านมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวพิกัด และในขณะที่ขัดแต่งต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิสูงขึ้นเกินควร ภายหลังการขัดหรือตัดความหนาของชิ้นทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 0.8 มิลลิเมตร และไม่มากกว่า 2.0 มิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบมาตัดเป็นรูปดัมบ์เบลล์ ดังแสดงในรูปที่ 4 และทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ 2 แห่ง ห่างกัน 20 มิลลิเมตร เป็นความยาวพิกัด

10.10.3 วิธีทดสอบ

10.10.3.1 นำชิ้นทดสอบแขวนในตู้อบ และมีน้ำหนักติดอยู่ด้านล่าง ใช้เป็นแรงถ่วงมีค่าเท่ากับ 20 นิวตันต่อตารางเซนติเมตรของพื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบส่วนที่ทำเครื่องหมาย

10.10.3.2 อบชิ้นทดสอบเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ± 3 องศาเซลเซียส วัดระยะทางระหว่างเครื่องหมายและคำนวณร้อยละของความยืด ถ้าตู้อบไม่มีช่องหน้าต่าง การเปิดประตูตู้อบเพื่อวัด ต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 30 วินาที

ในกรณีมีข้อโต้แย้ง การทดสอบต้องดำเนินการโดยใช้ตู้อบที่มีหน้าต่างและการวัดต้องทำโดยไม่เปิดประตูตู้อบ

10.10.3.3 นำน้ำหนักถ่วงออก โดยตัดชิ้นทดสอบด้านล่างใต้เครื่องหมายที่ทำไว้ปล่อยชิ้นทดสอบไว้ในตู้อบต่อไปอีก 5 นาที แล้วนำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบและปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นวัดระยะห่างระหว่างเครื่องหมายอีกครั้ง

10.10.4 การรายงานผล

ให้รายงานเป็นค่ามัธยฐานของความยืดหลังจากอบ 15 นาที และค่ามัธยฐานของความยืดหลังจากปล่อยให้เย็น เป็นร้อยละ

10.11 การทดสอบความจุไฟฟ้า

10.11.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า

10.11.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

สามารถใช้ตัวอย่างเดียวกับการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนได้

10.11.3 วิธีทดสอบ

วัดความจุไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับตัวกั้นโลหะ

10.11.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความจุไฟฟ้า เป็นไมโครฟารัดต่อกิโลเมตร

10.12 การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนที่ได้หลังจากทดสอบความโค้งงอ

10.12.1 เครื่องมือ

ทรงกระบอก และชุดทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60885-2

10.12.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้าอย่างน้อย 10 เมตร

10.12.3 วิธีการตรวจสอบ

10.12.3.1 นำตัวอย่างดัดโค้งงอรอบทรงกระบอก ที่อุณหภูมิห้องทดสอบอย่างน้อย 1 รอบทรงกระบอก หลังจากนั้นคลายออกแล้วให้ดัดโค้งงอ ในทิศทางตรงกันข้าม นับเป็น 1 ครั้ง จะต้องดัดโค้งงอทั้งหมด 3 ครั้ง

เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอกทดสอบต้องไม่มากกว่า 25(d+D) + ร้อยละ 5

เมื่อ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่วัดได้ เป็นมิลลิเมตร

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้าที่วัดได้ เป็นมิลลิเมตร

10.12.3.2 นำตัวอย่างที่ทดสอบความโค้งงอแล้ว มาวัดค่าการปล่อยประจุบางส่วน โดยค่อย ๆ เพิ่มแรงดันไฟฟ้าทดสอบจนกระทั่งเท่ากับ $1.75U_o$ สำหรับสายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 63 กิโลโวลต์ และสายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 112 กิโลโวลต์ คงแรงดันไฟฟ้าทดสอบดังกล่าวเป็นเวลา 10 วินาที หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดแรงดันไฟฟ้าทดสอบดังกล่าวจนเหลือ $1.5U_o$ โดยที่สายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 54 กิโลโวลต์ และสายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 96 กิโลโวลต์ วัดการปล่อยประจุบางส่วน

10.12.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าการปล่อยประจุบางส่วน เป็นพิโคคูลอมบ์

10.13 การทดสอบตัวประกอบพลังงานสูญเปล่า

10.13.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดค่าตัวประกอบพลังงานสูญเปล่า

10.13.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ใช้ตัวอย่างเดียวกับข้อ 10.12 หรือตัดตัวอย่างใหม่

10.13.3 วิธีการตรวจสอบ

10.13.3.1 ทำตัวอย่างให้ร้อนด้วยวิธีที่เหมาะสม โดยมีอุณหภูมิที่ตัวนำระหว่าง 95 องศาเซลเซียสถึง 100 องศาเซลเซียส และวัดอุณหภูมิตัวนำโดยวัดความต้านทานของตัวนำ โดยใช้เทอร์มอคัปเปิลวัดบนผิวของตัวกั้น หรือวัดบนผิวตัวนำอีกตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้ร้อนโดยวิธีเดียวกัน

10.13.3.2 หลังจากนั้นจ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบ U_o โดยที่สายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 36 กิโลโวลต์ และสายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 64 กิโลโวลต์ แล้ววัดค่าตัวประกอบพลังงานสูญเปล่า

10.13.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าตัวประกอบพลังงานสูญเปล่า

10.14 การตรวจสอบความทนทานไฟฟ้าขณะเกิดวัฏจักรการให้ความร้อน

10.14.1 เครื่องมือ

ชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

10.14.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ใช้ตัวอย่างเดียวกับข้อ 10.12

10.14.3 วิธีทดสอบ

10.14.3.1 ดัดตัวอย่างให้เป็นรูปตัวยู มีเส้นผ่านศูนย์กลางตามข้อ 10.12.3.1 และทำให้ร้อนด้วยวิธีการที่เหมาะสมโดยให้มีอุณหภูมิที่ตัวนำระหว่าง 95 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส

10.14.3.2 ให้ความร้อนกับตัวอย่างอย่างน้อย 8 ชั่วโมง โดยให้อุณหภูมิตัวนำเป็นตามข้อ 10.14.3.1 อย่างน้อย 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงตามธรรมชาติอย่างน้อย 16 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ ต้องทำให้ตัวอย่างร้อนและปล่อยให้เย็นตัวลงจำนวน 20 รอบ ระหว่างทดสอบจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าทดสอบ $2U_o$ โดยที่สายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์ ใช้แรงดัน ไฟฟ้าทดสอบ 72 กิโลโวลต์ และสายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 128 กิโลโวลต์ หลังจากครบรอบสุดท้าย ให้นำตัวอย่างไปทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนที่อุณหภูมิห้องทดสอบ หรือหากยังไม่ทดสอบค่าการปล่อยประจุบางส่วน ในขั้นตอนนี้ให้ทดสอบภายหลังจากทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ได้ตามข้อ 10.15

10.14.4 การรายงานผล

ให้รายงานผลความทนทานไฟฟ้าว่าผ่าน หรือไม่ผ่าน สายไฟฟ้าจะต้องไม่เสียหายโดยฉับพลัน หรือวาบไฟที่ผิว หากมีการวัดการปล่อยประจุบางส่วน ให้รายงานผลการทดสอบด้วย

10.15 การทดสอบความทนทานไฟฟ้าหลังการทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์

10.15.1 เครื่องมือ

เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์

10.15.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ใช้ตัวอย่างเดียวกับข้อ 10.12

10.15.3 วิธีทดสอบ

10.15.3.1 ทำตัวอย่างให้มีอุณหภูมิตัวนำอยู่ระหว่าง 95 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส

10.15.3.2 ทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ตามมาตรฐาน IEC 60230 โดยที่สายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์ แรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ 325 กิโลโวลต์ และสายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ 550 กิโลโวลต์ โดยทดสอบแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์รูปคลื่นบวก 10 ครั้ง และรูปคลื่นลบ 10 ครั้ง

10.15.3.3 หลังจากนั้นนำไปทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าทดสอบ $2.5U_o$ เป็นเวลา 15 นาที โดยที่สายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 60 กิโลโวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 90 กิโลโวลต์ และสายไฟฟ้าพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 110 กิโลโวลต์ ถึง 115 กิโลโวลต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 160 กิโลโวลต์ การทดสอบสามารถดำเนินการได้ขณะปล่อยให้สายไฟฟ้าเย็นลงโดยธรรมชาติหรือที่อุณหภูมิห้องทดสอบ หากยังไม่ทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนในข้อ 10.14 ให้มาทดสอบในขั้นตอนนี้

10.15.4 การรายงานผล

ให้รายงานผลความทนทานไฟฟ้า สายไฟฟ้าจะต้องไม่เสียหายโดยฉับพลันหรือวาบไฟที่ผิวว่าผ่านหรือไม่ผ่าน หากมีการวัดการปล่อยประจุบางส่วนให้รายงานผลการทดสอบด้วย

10.16 การทดสอบสภาพต้านทานของตัวกั้นที่เป็นสารกึ่งตัวนำ

10.16.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดความต้านทาน

10.16.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้ายาว 150 มิลลิเมตร และเตรียมตัวอย่างก่อนและหลังเร่งอายุการใช้งาน ตามรูปที่ 5 และ รูปที่ 6

10.16.3 วิธีทดสอบ

10.16.3.1 ทำขั้วไฟฟ้าที่ตำแหน่ง A B C และ D ตามรูปที่ 5 และ รูปที่ 6

10.16.3.2 การเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าต้องใช้ตัวหนีบที่เหมาะสม ในการต่อกับขั้วไฟฟ้าตัวกั้นตัวนำ ต้องทำให้แน่ใจว่า ตัวหนีบได้รับการป้องกันไม่ให้สัมผัสหรือมีฉนวนกั้นกับตัวกั้นของฉนวนที่อยู่ผิวด้านนอกของตัวอย่าง

10.16.3.3 นำตัวอย่างที่เตรียมตามข้อ 10.16.3.2 เข้าตู้อบที่มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา อย่างน้อย 30 นาที สภาพต้านทานระหว่างขั้วไฟฟ้าต้องวัดโดยวงจรที่มีกำลังไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์

10.16.3.4 หลังจากวัดค่าทางไฟฟ้า ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบนอกของตัวกั้นตัวนำและของฉนวน ความหนาของตัวกั้นตัวนำและของฉนวน ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัด 6 ครั้ง วัดจากตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 6

การคำนวณสภาพต้านทาน (ρ) หน่วยเป็นโอห์ม . เมตร จากสูตร

ตัวกั้นตัวนำ

$$\rho_c = \frac{R_c \times \pi \times (D_c - T_c) \times T_c}{2L_c}$$

เมื่อ ρ_c คือ สภาพต้านทานเชิงปริมาตร เป็นโอห์ม . เมตร

R_c คือ ความต้านทานที่วัดได้ เป็นโอห์ม

L_c คือ ระยะระหว่างขั้วไฟฟ้า B และ C เป็นเมตร

D_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางขอบนอกของตัวกั้นตัวนำ เป็นเมตร

T_c คือ ความหนาเฉลี่ยของตัวกั้นตัวนำ เป็นเมตร

ตัวกั้นฉนวน

$$\rho_i = \frac{R_i \times \pi \times (D_i - T_i) \times T_i}{L_i}$$

เมื่อ ρ_i คือ สภาพต้านทาน เป็นโอห์ม . เมตร

R_i คือ ความต้านทานที่วัดได้ เป็นโอห์ม

L_i คือ ระยะระหว่างขั้วไฟฟ้า B และ C เป็นเมตร

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางขอบนอกของตัวกั้นฉนวน เป็นเมตร

T_i คือ ความหนาเฉลี่ยของตัวกั้นฉนวน เป็นเมตร

10.16.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าสภาพต้านทานของตัวกั้น เป็นโอห์ม . เมตร

10.17 ฉนวน

10.17.1 ความต้านแรงดึงและความยืดก่อนเร่งอายุใช้งาน

10.17.1.1 เครื่องมือ

(1) กล้องจุลทรรศน์ หรือเครื่องวัดที่เทียบเท่าที่มีแรงกดสัมผัสไม่เกิน 7 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

(2) เครื่องทดสอบแรงดึงที่มีอัตราการดึง 250 มิลลิเมตรต่อนาที ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที

10.17.1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ 5 ชิ้น (อีก 5 ชิ้น สำหรับการทดสอบภายหลังเร่งอายุใช้งาน โดยตัดจากบริเวณที่อยู่ติดกัน การทดสอบความต้านแรงดึงก่อนเร่งอายุใช้งานและภายหลังเร่งอายุใช้งานให้ทำอย่างต่อเนื่องทันที) หากตัวอย่างชำรุดซึ่งเกิดจากความเสียหายทางกล ไม่ให้ทำเป็นชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมบ์เบลล์

ผ่าฉนวนตามแนวแกนและเปิดเอาตัวนำออก ตัดตัวอย่างแต่ละชิ้นให้มีขนาดพอเพียงสำหรับทดสอบและทำเครื่องหมายที่ชิ้นตัวอย่างและตัวอย่างทดสอบให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้ทราบว่าตัดชิ้นทดสอบมาจากตัวอย่างและที่ตำแหน่งใด และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ขัดหรือตัดชิ้นทดสอบจนผิวทั้ง 2 ด้าน ขนานกันในช่วงความยาวพิกัด ในขณะขัดแต่งต้องระวังมิให้อุณหภูมิสูงขึ้นเกินควร ภายหลังการขัดหรือการตัด ความหนาของชิ้นทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 0.8 มิลลิเมตร และไม่มากกว่า 2.0 มิลลิเมตร

นำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นที่เตรียมไว้มาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ตามรูปที่ 5 หรือถ้าเป็นไปได้ให้ตัดชิ้นทดสอบให้ด้านยาวในตำแหน่งเคียงข้างกัน

ทำขีดเครื่องหมาย 2 แห่งห่างกัน 20 มิลลิเมตร เป็นความยาวพิกัด ตรงกลางของชิ้นทดสอบสำหรับชิ้นทดสอบตามรูปที่ 4

10.17.1.3 การหาพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ คำนวณจากความกว้างและความหนาต่ำสุด ซึ่งได้จากการวัดชิ้นทดสอบ 3 ครั้ง ระหว่างขีดเครื่องหมาย ถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องความสม่ำเสมอของความกว้าง ให้วัดความกว้างที่ผิวของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ด้าน 3 ตำแหน่งที่เดียวกับการวัดความหนา แล้วหาค่าเฉลี่ยของการวัดทั้ง 2 ด้านนั้น เป็นความกว้างของแต่ละตำแหน่ง

ค่าที่น้อยที่สุดของพื้นที่หน้าตัด 3 ค่าที่หาได้ ให้นำไปคำนวณหาความต้านแรงดึง

ในการวัดความหนาและความกว้าง ให้คิดทศนิยม 2 ตำแหน่ง เป็นมิลลิเมตร

10.17.1.4 การปรับภาวะของชิ้นทดสอบ

ก่อนทดสอบความต้านแรงดึง ให้เก็บชิ้นทดสอบทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง

10.17.1.5 วิธีทดสอบ

(1) อุณหภูมิทดสอบ

ให้ทดสอบที่อุณหภูมิห้องทดสอบ โดยทดสอบให้เสร็จภายใน 5 นาที นับจากนำชิ้นทดสอบออกจากการปรับภาวะตามข้อ 10.17.1.4 ในกรณีที่มีข้อสงสัยให้ทดสอบซ้ำที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส

(2) ระยะระหว่างปากจับ

ให้เป็นดังนี้

50 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ตามรูปที่ 4

(3) การวัด

บันทึกค่าแรงดึง และระยะระหว่างขีดเครื่องหมายทั้ง 2 ในขณะที่ฉนวนขาด ผลที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์เนื่องจากชิ้นทดสอบขาดนอกความยาวพิกัด ไม่ต้องนำมาพิจารณา ในกรณีนี้หากมีผลที่เป็นไปตามเกณฑ์อย่างน้อย 4 ค่า ให้นำมาคำนวณความต้านแรงดึงและความยืด แต่ถ้ามีผลที่เป็นไปตามเกณฑ์น้อยกว่า 4 ค่า ต้องทดสอบซ้ำ

10.17.1.6 การรายงานผล

ให้รายงานผลเป็นค่ามัธยฐาน โดยคำนวณความต้านแรงดึง และความยืด ดังนี้

$$TS = \frac{F}{A}$$

เมื่อ TS คือ ความต้านแรงดึง เป็นนิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

F คือ ค่าของแรงที่วัดได้ที่จุดขาด เป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นทดสอบ เป็นนิวตัน

$$EL = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

เมื่อ EL คือ ความยืด เป็นร้อยละ

L_1 คือ ความยาวพิกัดขณะที่ขาด เป็นมิลลิเมตร

L_0 คือ ความยาวพิกัดเดิม เป็นมิลลิเมตร

10.17.2 ความต้านแรงดึงและความยืดภายหลังเร่งอายุใช้งาน

10.17.2.1 เครื่องมือ

ตู้อบความร้อนที่มีอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ หรือโดยการขับ ทั้งนี้อากาศต้องไหลผ่านทั่วพื้นผิวชิ้นทดสอบและไหลออกใกล้ส่วนบนของตู้อบ อากาศในตู้อบต้องถ่ายเทชั่วโมงละไม่น้อยกว่า 8 เท่า และไม่เกิน 20 เท่าของปริมาตรตู้อบ ที่อุณหภูมิที่กำหนดในตารางที่ 5 ห้ามใช้ใบพัดลมในตู้อบ

10.17.2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

(1) ชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ ให้ปฏิบัติตามข้อ 10.17.1.2

(2) ชิ้นส่วนที่เป็นสายไฟฟ้า ตัดสายไฟฟ้าตัวอย่างโดยเลือกเอาจากบริเวณที่อยู่ติดกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบความต้านแรงดึงและความยืดก่อนเร่งอายุใช้งาน เป็นชิ้นส่วน 3 ชิ้น ยาวประมาณชิ้นละ 200 มิลลิเมตร

10.17.2.3 การหาพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.3

10.17.2.4 การปรับภาวะของชิ้นทดสอบ

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.4

10.17.2.5 วิธีทดสอบ

ชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์

แขวนชิ้นทดสอบในแนวดิ่ง ให้อยู่บริเวณกลางตู้อบ แต่ละชิ้นห่างกันอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร เป็นเวลาตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5 เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องทดสอบไม่ให้ถูกแสงอาทิตย์โดยตรงเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบความต้านแรงดึง และความยืดตามวิธีที่กำหนดในข้อ 10.17.1.5

10.17.2.6 การรายงานผล

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.6

10.18 เปลือก

10.18.1 ความต้านแรงดึงและความยืดก่อนเร่งอายุใช้งาน

10.18.1.1 เครื่องมือ

เช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.1

10.18.1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นทดสอบ 5 ชิ้น มีรูปร่างเช่นเดียวกับที่กำหนดใข้อ 10.17.1.2 (อีก 5 ชิ้นสำหรับการทดสอบภายหลังเร่งอายุใช้งาน โดยตัดจากบริเวณที่อยู่ติดกัน การทดสอบความต้านแรงดึงก่อนเร่งอายุใช้งานและภายหลังเร่งอายุใช้งาน ให้ทำอย่างต่อเนื่องกันทันที) หากตัวอย่างชำรุดซึ่งเกิดจากความเสียหายทางกล ไม่ให้ทำเป็นชิ้นทดสอบ

ถ้าเปลือกมีสันซึ่งเกิดจากแกนภายใน ให้ผ่าเปลือกตามแนวสัน แล้วขัดหรือตัดสันนั้นให้เรียบ

10.18.1.3 การหาพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.3

10.18.1.4 การปรับภาวะของชิ้นทดสอบ

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.4

10.18.1.5 วิธีทดสอบ

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.5

10.18.1.6 การรายงานผล

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.1.6

10.18.2 ความต้านแรงดึงและความยืดภายหลังเร่งอายุใช้งาน

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17.2

10.19 การทดสอบความเข้ากันได้ของวัสดุประกอบของสายไฟฟ้า

10.19.1 เครื่องมือ

เช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17 และข้อ 10.18

10.19.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้าความยาว 200 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น โดยตัดตัวอย่างสายไฟฟ้าในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ตัดเพื่อทดสอบความต้านแรงดึงก่อนอบเร่งอายุ นำตัวอย่างทั้ง 3 ชิ้น แขวนในแนวตั้งกลางตู้อบ แต่ละตัวอย่างห่างกันอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร และต้องมีปริมาตรไม่เกินร้อยละ 2 ของปริมาตรของตู้อบ อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกจากตู้อบและปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ อย่างน้อย 16 ชั่วโมง นำตัวอย่างสายไฟฟ้าที่ผ่านการอบและปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้องตามที่กำหนดแล้ว มาแยกฉนวนและเปลือกออก เพื่อเตรียมชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ ตามรูปที่ 5 โดยเตรียม 2 ชิ้นทดสอบของฉนวน และ 2 ชิ้นทดสอบของเปลือก จากแต่ละตัวอย่างสายไฟฟ้า ดังนั้นจะมีชิ้นทดสอบของฉนวน 6 ชิ้น และชิ้นทดสอบของเปลือก 6 ชิ้น

10.19.3 วิธีทดสอบ

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17 และข้อ 10.18

10.19.4 การรายงานผล

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กำหนดในข้อ 10.17 และข้อ 10.18

10.20 การทดสอบการเปลี่ยนรูปขณะมีแรงกดที่อุณหภูมิสูงของเปลือก

10.20.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7

10.20.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้าให้มีความยาว 250 มิลลิเมตร ถึง 500 มิลลิเมตร แล้วให้ปอกเปลือกและเอาส่วนที่อยู่ภายในที่อยู่ใต้เปลือกออก แล้วตัดชิ้นตัวอย่าง 3 ชิ้น แต่ละชิ้นต้องตัดให้ต่อเนื่องกันยาวชิ้นละ 50 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร (ความยาวของชิ้นตัวอย่างขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง)

ถ้าเปลือกไม่มีสัน ให้ทำชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นตัวอย่างตามแนวแกนของสายไฟฟ้า กว้างประมาณ 1 ใน 3 ของเส้นรอบวง

ถ้าเปลือกมีสันซึ่งเกิดจากแกนภายใน ให้ทำชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นตัวอย่างตามแนวของสัน และอย่างน้อยให้มีร่องหนึ่งระหว่างสันอยู่ประมาณในแนวกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ

10.20.3 วิธีทดสอบ

10.20.3.1 วางชิ้นทดสอบในลักษณะตามรูปที่ 7 โดยรองชิ้นทดสอบด้วยท่อหรือแท่งโลหะกลม ซึ่งอาจผ่าครึ่งในแนวแกนเพื่อให้เป็นที่รองที่มั่นคง รัศมีของที่รองประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นทดสอบ

10.20.3.2 การจัดเครื่องทดสอบ ชิ้นทดสอบ ที่รองชิ้นทดสอบ และใบมีดกดลงบนผิวภายนอกของชิ้นทดสอบ แรงที่กดและใบมีด ต้องตั้งฉากกับแกนของที่รองชิ้นทดสอบ แรงที่กดคำนวณได้จาก สูตร

$$F = k\sqrt{2D\delta - \delta^2}$$

เมื่อ F คือ แรงที่กดบนชิ้นทดสอบ เป็นนิวตัน

k คือ สัมประสิทธิ์ตัวคูณ มีค่าเท่ากับ 0.7

δ คือ ค่าเฉลี่ยของความหนาชิ้นทดสอบของเปลือก เป็นมิลลิเมตร

D คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิ้นทดสอบของเปลือก เป็นมิลลิเมตร

ค่า δ และ D ให้ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง และที่คำนวณได้อาจปัดเศษลงได้ไม่เกินร้อยละ 3

10.20.3.3 นำชิ้นทดสอบพร้อมเครื่องทดสอบตามรูปที่ 7 ไปอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้อบตามตารางที่ 5

เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด ทำให้ชิ้นทดสอบเย็นลงอย่างรวดเร็วขณะที่มีแรงกด โดยใช้น้ำเย็นพ่นลงไปที่จุดที่ใบมีดกด หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบและเครื่องทดสอบแล้วแช่ในน้ำเย็น

10.20.3.4 หลังจากแช่น้ำเย็นแล้ว ตัดชิ้นทดสอบเป็นแถบบางตามแนวแกนของสายไฟฟ้า โดยตัดตั้งฉากกับรอยกดตามรูปที่ 8 วางแถบที่ตัดให้อยู่ในแนวราบบนเครื่องวัด แล้ววัดความหนาตรงจุดที่ลึกที่สุดของรอยกดและผิวนอกของชิ้นทดสอบตามในรูปที่ 8 ด้วยกล้องจุลทรรศน์หรือเครื่องฉายหน้าตัดข้าง

10.20.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่ามัธยฐานของความลึก ที่รอยกดของชิ้นทดสอบทั้ง 3 ชิ้น เป็นร้อยละของความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบที่วัดได้ในข้อ 10.20.3.2

10.21 การทดสอบปริมาณคาร์บอนแบล็กในเปลือกพอลิเอทิลีน

10.21.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบดังแสดงในรูปที่ 9

10.21.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างจากปลายข้างหนึ่งของสายไฟฟ้า และตัดเป็นชิ้นทดสอบ มีขนาดความกว้างไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ความยาวไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร

10.21.3 การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายไพโรแกลลอล (pyrogallol) โดยละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 50 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มไล่ออกซิเจน แล้ว 100 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายเย็น ใส่ไพโรแกลลอล 5 กรัม

10.21.4 วิธีทดสอบ

10.21.4.1 ปรับอัตราการไหลของไนโตรเจนไปที่ 1.7 ลิตรต่อนาที ± 0.3 ลิตรต่อนาที ไนโตรเจนต้องมีส่วนผสมของออกซิเจน น้อยกว่าร้อยละ 0.5

10.21.4.2 ใส่สารละลายไพโรแกลลอล 1 ใน 3 ของขวดที่ 1 ทันทีที่เปิดขวดและรีบปิดฝาขวด

10.21.4.3 ใส่ไทรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) 2 ใน 3 ของขวดที่ 2 และขวดที่ 3 สำหรับขวดที่ 2 ใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำแข็งแห้ง

10.21.4.4 นำถาดทนไฟไปเผาบนตะเกียงจนกระทั่งถาดทนไฟแดง และใส่ไว้ในเดซิกเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นอย่างน้อย 30 นาที

10.21.4.5 นำถาดทนไฟที่เย็นไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม บันทึกค่า m_1 แล้ว ใส่ชิ้นทดสอบที่จะทดสอบหนัก 1.0 กรัม ± 0.1 กรัม ชั่งอีกครั้งบันทึกค่า m_2

10.21.4.6 ใส่ถาดทนไฟที่มีชิ้นทดสอบที่จะทดสอบไว้กลางท่อแก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 30 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร ± 50 มิลลิเมตร (หรือความยาวที่เหมาะสมกับเตาเผา) สวมยางซิลิโคนซึ่งยึดไว้กับท่อไนโตรเจน และเทอร์มอคัปเปิลไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของท่อแก้ว โดยให้ปลายเทอร์มอคัปเปิลในท่อแก้วสัมผัสกับถาดทนไฟ จากนั้นปล่อยไนโตรเจนให้ไหลผ่านถาดทนไฟด้วยอัตราการไหลที่กำหนด

10.21.4.7 ใส่ท่อแก้วเข้าไปในเตาเผาไฟฟ้า โดยที่ปลายทั้ง 2 ด้านของท่อให้โผล่พ้นจากเตาเผาไฟฟ้าระยะเท่า ๆ กัน ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อแก้วให้ต่อเข้ากับอุปกรณ์ตามข้อ 10.21.4.3

10.21.4.8 เริ่มให้ความร้อนกับเตาเผาไฟฟ้า จนได้อุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส ถึง 350 องศาเซลเซียส ภายในเวลาประมาณ 10 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนได้ประมาณ 450 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 10 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิอีกจนได้ 500 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที

เมื่อครบเวลาให้ถอดอุปกรณ์ตามข้อ 10.21.4.3 ออก แล้วนำท่อแก้วออกจากตู้เผาไฟฟ้า ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 5 นาที โดยยังคงเปิดไนโตรเจนไว้ หลังจากนั้นเปิดจุกทางด้านไนโตรเจนเข้าและนำเอาถาดทนไฟออกมา ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิคเคเตอร์ เป็นเวลา 20 นาที ถึง 30 นาที จากนั้นนำไปชั่ง บันทึกค่า m_3

10.21.4.9 ต่อจากนั้น นำถาดทนไฟใส่กลับเข้าไปในท่อแก้ว แต่ให้ปล่อยอากาศหรือออกซิเจนไหลเข้าไปแทนไนโตรเจนด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ± 20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งคาร์บอนแบล็กที่เหลือถูกเผาไหม้ (เผาประมาณ 10 นาที) ปล่อยให้เย็นแล้วจึงนำออกมาชั่งน้ำหนักบันทึกค่า m_4

10.21.4.10 การคำนวณผลการทดสอบให้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอนแบล็ก เป็นร้อยละ} = \frac{m_3 - m_4}{m_2 - m_1} \times 100$$

10.21.5 การรายงานผล

ให้รายงานปริมาณคาร์บอนแบล็ก เป็นร้อยละ

10.22 การทดสอบการหดตัวของฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน

10.22.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60811-1-3

10.22.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดปลายของสายไฟฟ้าออกไปอย่างน้อย 500 มิลลิเมตร ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้ายาวประมาณ 300 มิลลิเมตร แล้วปอกสิ่งห่อหุ้มทั้งหมดออกจนเหลือถึงตัวกั้นฉนวน ให้แล้วเสร็จภายในเวลา 5 นาที หลังจากตัดตัวอย่าง ให้ทำเครื่องหมายระยะ 200 มิลลิเมตร ± 5 มิลลิเมตร กลางชิ้นทดสอบ วัดระยะระหว่างเครื่องหมายให้ ละเอียด 0.5 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นทดสอบให้ปอกฉนวนออกจากปลายทั้งสองด้านของชิ้นทดสอบ จากจุดที่ทำเครื่องหมายระหว่าง 2 ถึง 5 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 10

10.22.3 วิธีทดสอบ

10.22.3.1 วางชิ้นทดสอบลงบนที่รองรับตามแนวนอนในตู้อบ โดยให้ปลายของตัวนำที่อยู่บนที่รองรับ หรือบนผิวของขอบที่ลื่น เพื่อให้ตัวอย่างสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ

10.22.3.2 อบชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในที่อุณหภูมิห้องทดสอบ และวัดระยะระหว่างเครื่องหมายทั้งสองของแต่ละชิ้นทดสอบอีกครั้งให้ละเอียด 0.5 มิลลิเมตร

10.22.4 การรายงานผล

ให้รายงานความแตกต่าง เป็นร้อยละของระยะเครื่องหมายก่อนอบ และหลังอบที่ปล่อยให้เย็น

10.23 การทดสอบการซึมของน้ำ

10.23.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60840 ดังแสดงในรูปที่ 11

10.23.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้ายาวอย่างน้อย 6 เมตร ซึ่งนำมาจากตัวอย่างที่ทดสอบความโค้งงอ ตัดสายไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบความโค้งงอยาว 3 เมตรเป็นชิ้นทดสอบ วางในแนวนอนและปอกที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นทดสอบโดยรอบกว้างประมาณ 50 มิลลิเมตรจนถึงชั้นของตัวกั้นของฉนวน

ผิวที่ถูกตัด จะต้องไม่มีส่วนใดไปปิดช่องว่างของโครงสร้าง เดิมที่มีการป้องกันน้ำ เพื่อให้ส่วนที่ป้องกันน้ำสามารถป้องกันน้ำได้เต็มที่ ผิวของส่วนที่ถูกตัดที่อยู่ใกล้สามารถป้องกันน้ำด้วยวัตถุที่เหมาะสมหรือสิ่งห่อหุ้มภายนอกอาจจะนำออกไปก็ได้

จัดเครื่องมือ ตามรูปที่ 11 โดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อน้ำ อย่างน้อย 10 มิลลิเมตร วางในแนวตั้งเหนือตำแหน่งที่ปอกของชิ้นทดสอบ และอุดเปลือกที่ต่ออยู่กับปลายเครื่องมือทั้งสองข้างเพื่อป้องกันการรั่วของน้ำ และต้องไม่ทำให้เกิดความเค้นทางกลบนสายไฟฟ้า

10.23.3 วิธีทดสอบ

10.23.3.1 เติมน้ำที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ± 10 องศาเซลเซียส ลงในถังน้ำ ให้น้ำมีระดับความสูง 1 เมตรจากจุดกึ่งกลางของสายไฟฟ้าตามแนวแกนภายใน 5 นาที ตามรูปที่ 11 แล้วปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

10.23.3.2 ทำตัวนำให้ร้อนด้วยวิธีการที่เหมาะสม 10 วัฏจักรการให้ความร้อน โดยให้มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 95 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามต้องไม่ถึง 100 องศาเซลเซียส

10.23.3.3 ทำตัวนำให้ร้อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิของตัวนำต้องอยู่ในระดับ 95 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ของแต่ละครั้งที่ทำให้ตัวนำร้อน และปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องทดสอบอย่างน้อย 16 ชั่วโมง ถือเป็น 1 วัฏจักรการให้ความร้อน และระดับน้ำในท่อต้องรักษาให้มีระดับ 1 เมตรตลอด

10.23.4 การรายงานผล

ให้รายงานว่าระหว่างทดสอบมีน้ำซึมออกจากปลายทั้งสองด้านหรือไม่

10.24 การทดสอบการสูญเสียมวลของเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์

10.24.1 เครื่องมือ

10.24.1.1 ตู้อบ ตามมาตรฐาน IEC 60811-3-2

10.24.1.2 เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

10.24.1.3 เดซิกเคเตอร์

10.24.1.4 ที่ตัดชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์

10.24.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

10.24.2.1 ปอกเปลือกชิ้นตัวอย่างด้วยความระมัดระวัง ไม่ทำให้เปลือกเสียหายหรือชำรุด ตัดเปลือกเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์ดังแสดงในรูปที่ 4 จำนวน 3 ชิ้น

10.24.2.2 การคำนวณพื้นที่ส่วนที่ระเหย

ให้หาพื้นที่ผิว (A) ของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น เป็นตารางเซนติเมตรก่อนนำไปทดสอบ จากสูตร

$$A = \frac{1256 + (180\delta)}{100}$$

เมื่อ δ คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตรทศนิยม 2 ตำแหน่ง

10.24.3 วิธีทดสอบ

10.24.3.1 วางชิ้นทดสอบในเดซิกเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ เป็นเวลาอย่างน้อย 20 ชั่วโมง ชั่งชิ้นทดสอบทันทีที่นำออกจากเดซิกเคเตอร์ เป็นมิลลิกรัมทศนิยม 1 ตำแหน่ง

10.24.3.2 แขวนชิ้นทดสอบในแนวตั้ง กึ่งกลางตู้อบ ให้แต่ละชิ้นห่างกันอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร เป็นเวลา 168 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส ปริมาตรชิ้นทดสอบรวมต้องไม่เกินร้อยละ 0.5 ของปริมาตรตู้อบ

10.24.3.3 หลังจากอบ นำชิ้นทดสอบไปวางในเดซิเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วชั่งชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นอีกครั้ง คำนวณความแตกต่างระหว่างมวลที่ชั่งได้ในข้อ 10.24.3.1 กับข้อ 10.24.3.3 ของแต่ละชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิกรัม

10.24.4 การรายงานผล

ให้รายงานเป็นค่ามัธยฐาน ของค่าที่ได้จากการหาความแตกต่าง เป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

10.25 การทดสอบความทนต่อการช็อกด้วยความร้อนของเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์

10.25.1 เครื่องมือ

ตู้อบและแมนเดรล

10.25.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างสายไฟฟ้าให้มีความยาวเหมาะสม 2 ตัวอย่าง จากสายไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง ห่างกันอย่างน้อย 1 เมตร ปอกเปลือกออก แล้วนำเปลือกไปทำเป็นชิ้นทดสอบดังนี้

10.25.2.1 สายไฟฟ้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเกิน 12.5 มิลลิเมตร และความหนาเปลือกไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ให้ทำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นทดสอบเป็นแผ่นยาวตามแนวแกนให้มีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความหนาเปลือก แต่ไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร

10.25.3 วิธีทดสอบ

พันชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นบนแมนเดรล ให้แน่นเป็นวงชิดกันตามตารางที่ 6 และยึดให้อยู่กับที่ ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ แล้วนำไปใส่ในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบ แล้วตรวจพินิจ

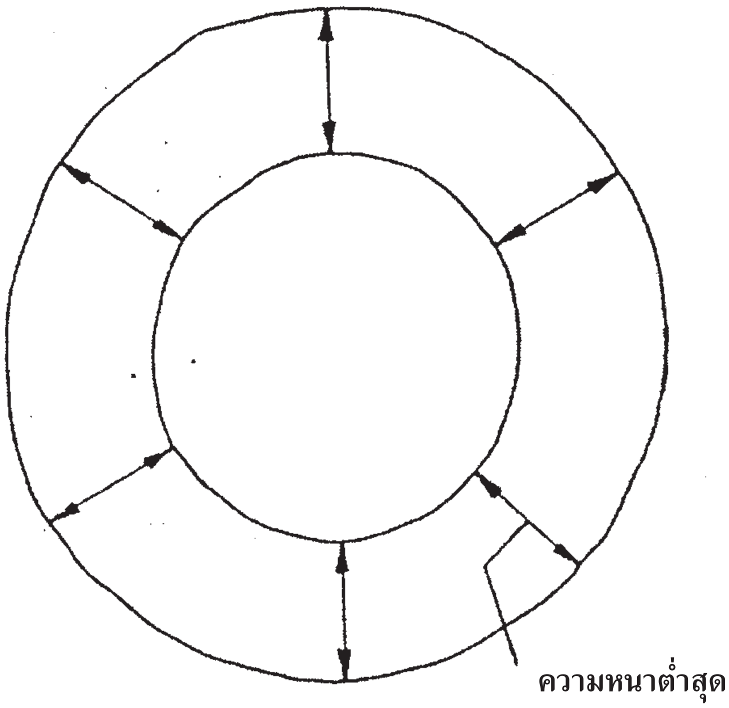
10.25.4 การรายงานผล

ให้รายงานว่ามีการแตกรานหรือไม่

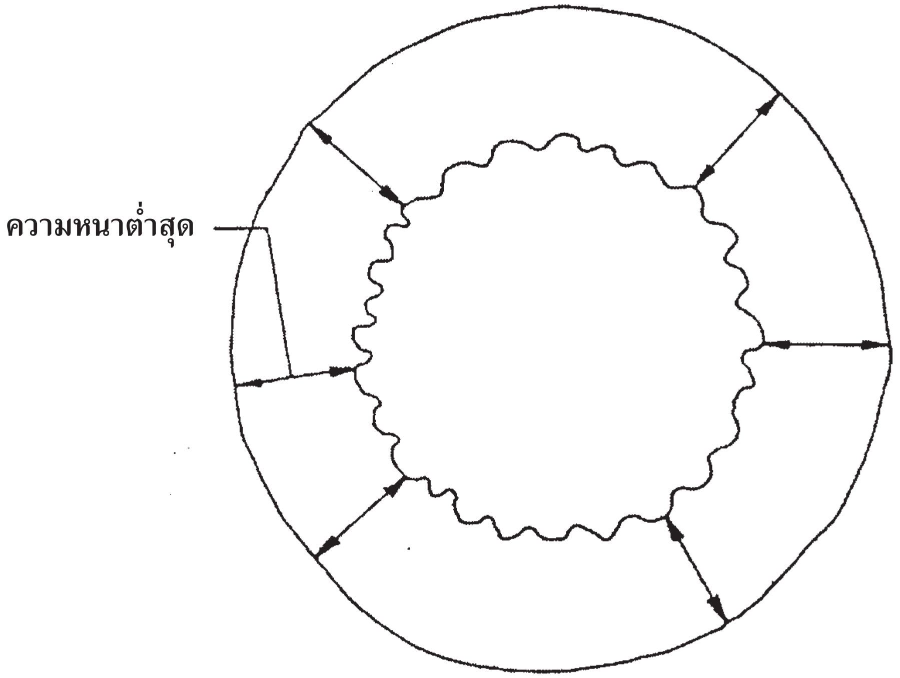
ตารางที่ 6 เส้นผ่านศูนย์กลางของแมนเดรลและจำนวนรอบที่พัน

(ข้อ 10.25)

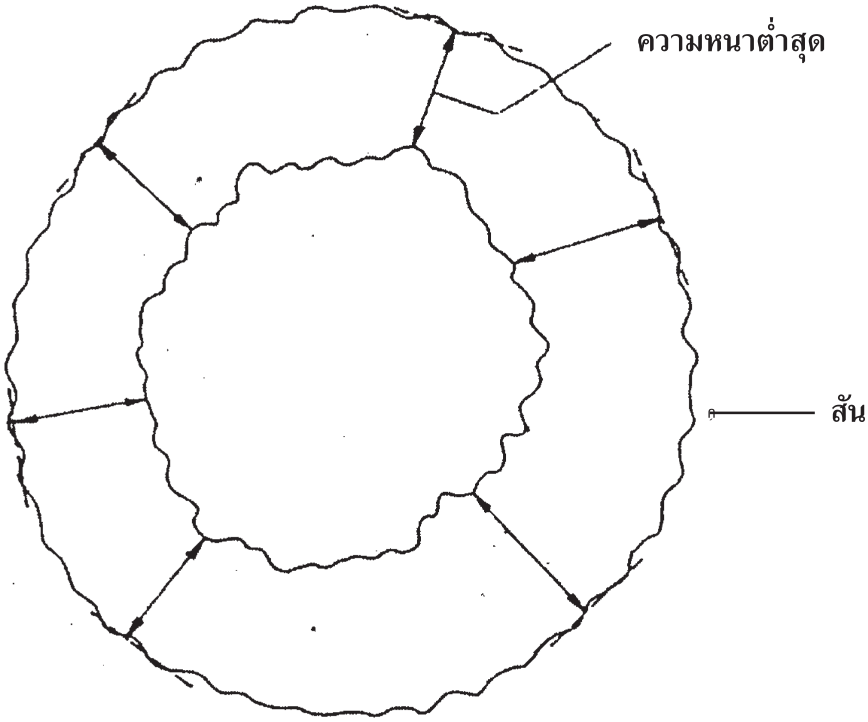
ความหนาของชิ้นทดสอบ mm	เส้นผ่านศูนย์กลางของแมนเดรล mm	จำนวนรอบ รอบ
ไม่เกิน 1	2	6
เกิน 1 ถึง 2	4	6
เกิน 2 ถึง 3	6	6
เกิน 3 ถึง 4	8	4
เกิน 4 ถึง 5	10	2



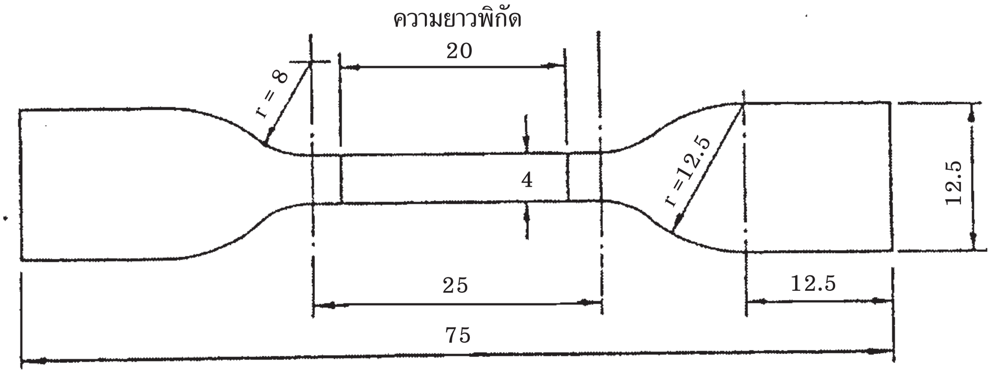
รูปที่ 1 การตรวจสอบความหนาของฉนวนหรือเปลือก
(ข้อ 10.6.3.1 และข้อ 10.7.3.1)



รูปที่ 2 การตรวจสอบความหนาของฉนวนหรือเปลือก
(ข้อ 10.6.3.2 และข้อ 10.7.3.2)

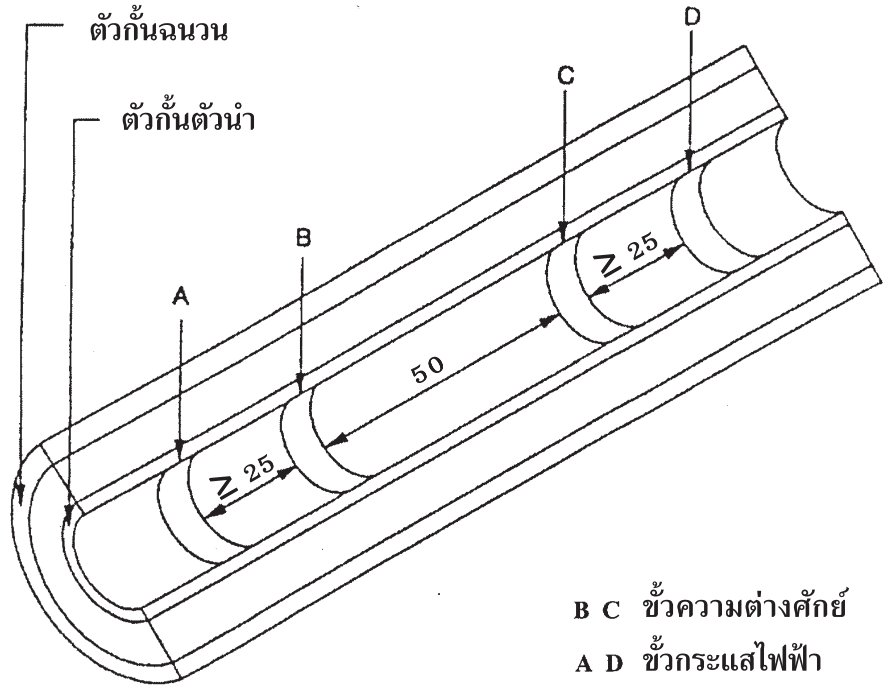


รูปที่ 3 การตรวจสอบความหนาของเปลือก
(ข้อ 10.7.3.3)



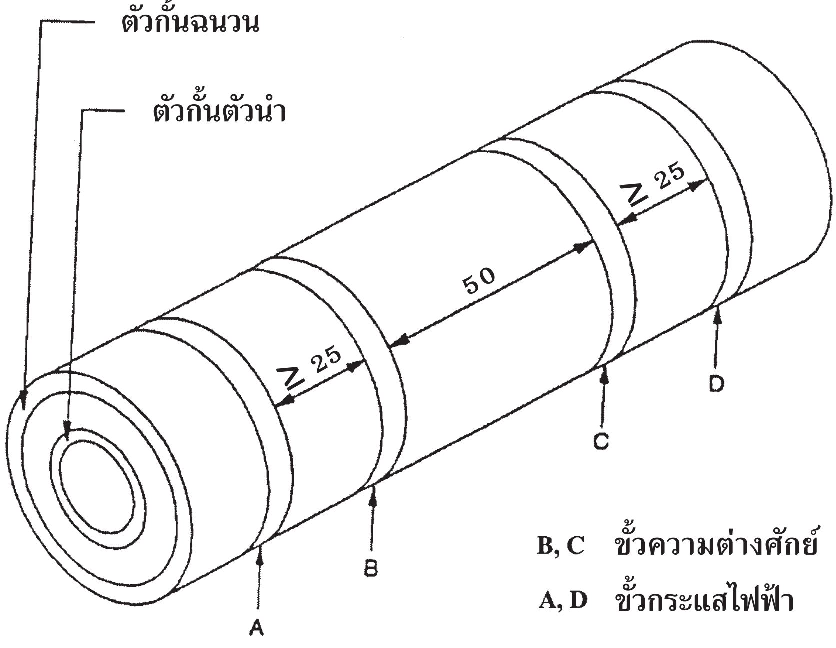
หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 ชิ้นทดสอบรูปดัมบ์เบลล์
(ข้อ 10.17.1.2 ข้อ 10.17.1.5(2) และข้อ 24.2.1)



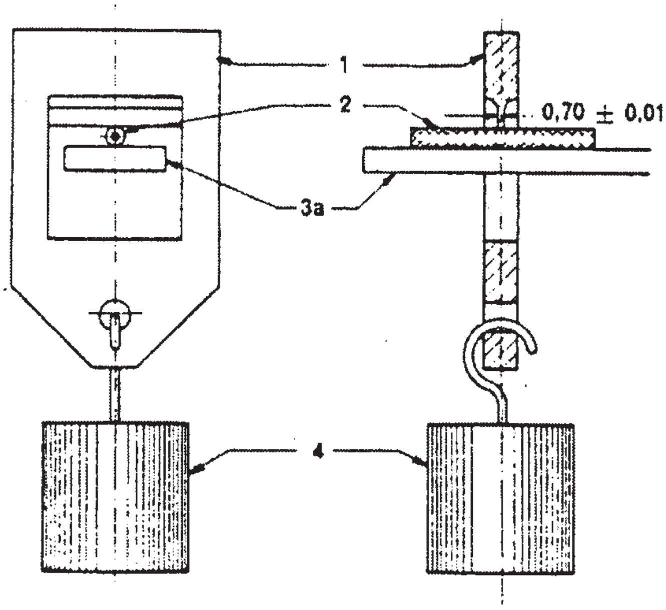
หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 5 การทดสอบความต้านทานของตัวกั้นตัวนำ
(ข้อ 10.16.3.1 และข้อ 10.17.1.2)



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 6 การทดสอบความต้านทานของตัวกั้นฉนวน
(ข้อ 10.16.3.1 และข้อ 10.16.3.4)



1 ใบมีด

2 ชิ้นทดสอบ

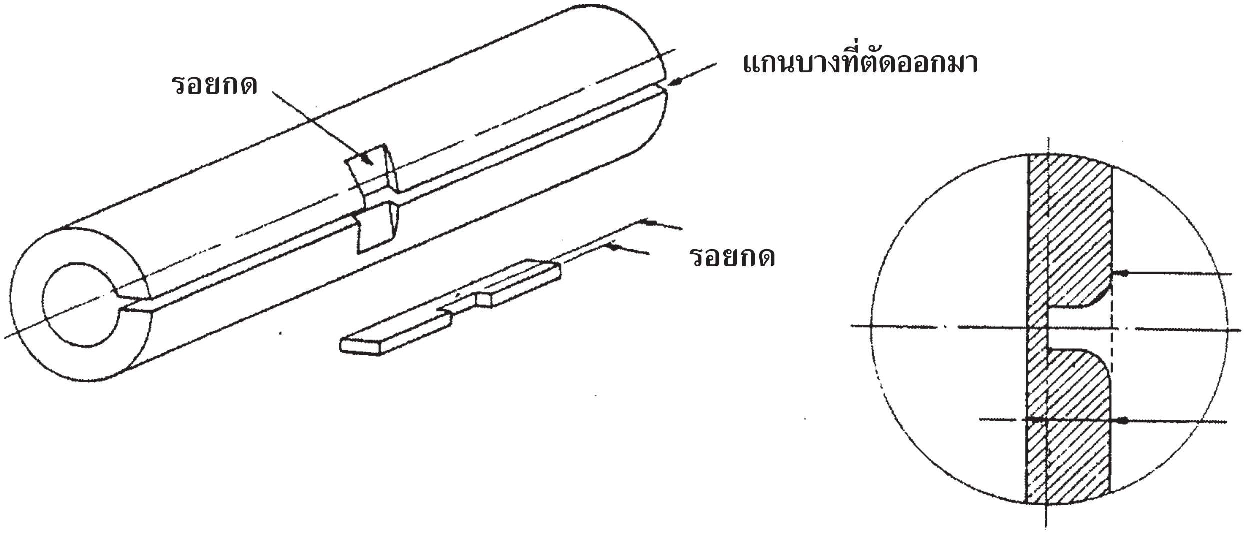
3a ที่รองรับ

4 ลูกตุ้มน้ำหนัก

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

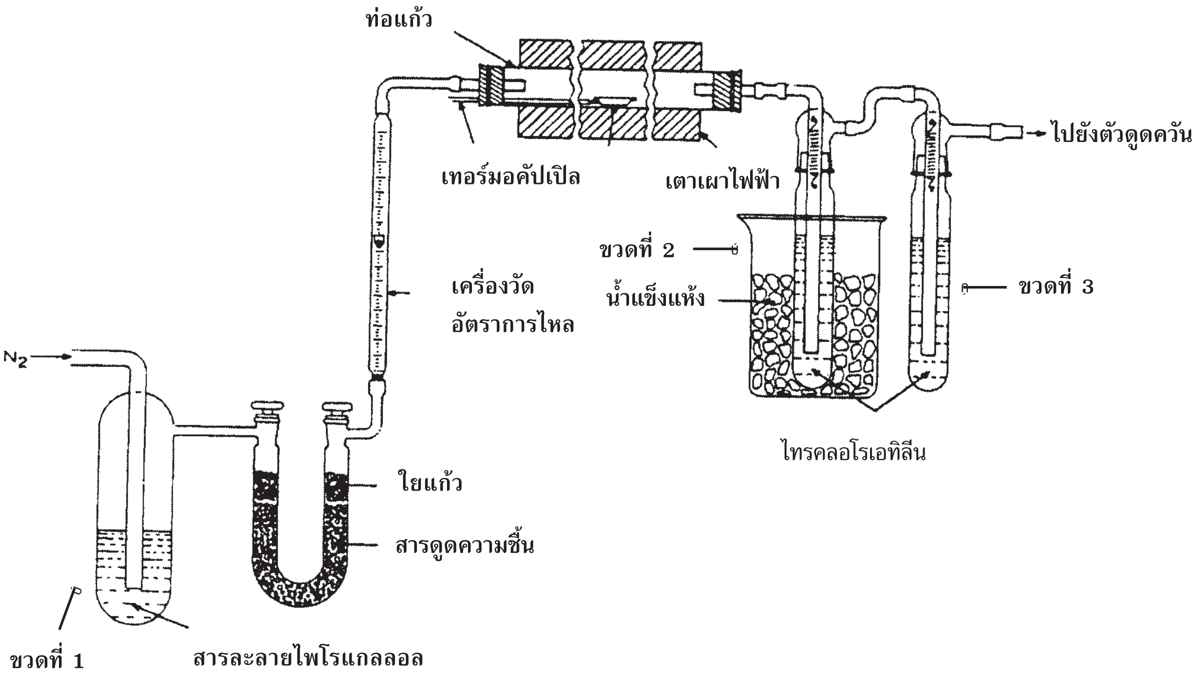
รูปที่ 7 เครื่องทดสอบการเปลี่ยนรูปขณะมีแรงกดที่อุณหภูมิสูง

(ข้อ 10.20.1 ข้อ 10.20.3.1 และข้อ 10.20.3.2)

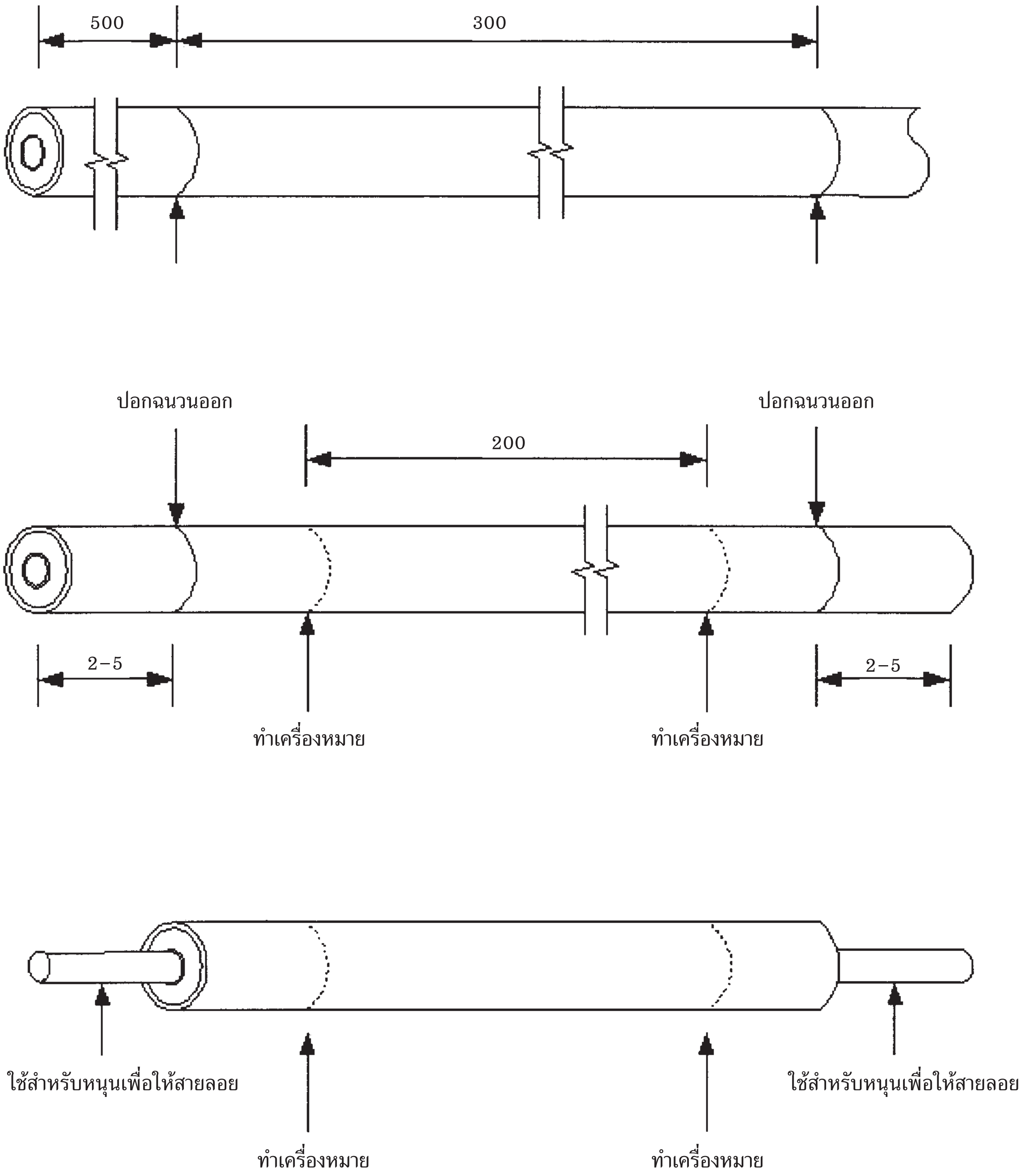


รูปที่ 8 การวัดรอยกด

(ข้อ 10.20.3.4)



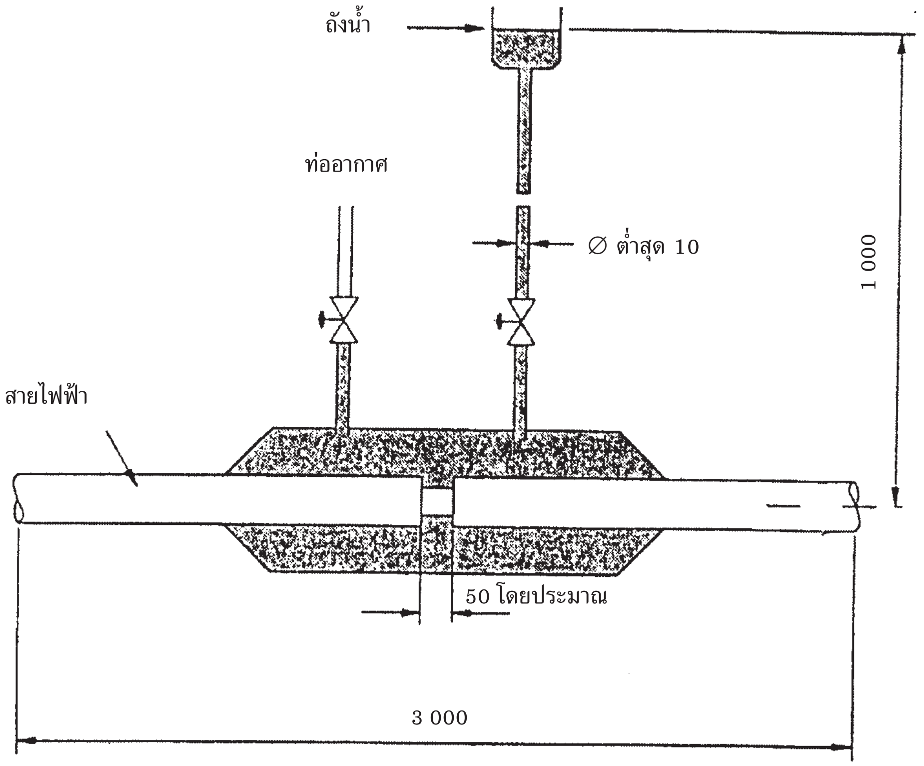
รูปที่ 9 การทดสอบจำนวนคาร์บอนแบล็กในเปลือกพอลิเอทิลีน
(ข้อ 10.21.1.1)



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 10 การทดสอบการหดตัวของฉนวนครอสลิงก์พอลิเอทิลีน

(ข้อ 10.22.2)



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 11 การทดสอบการซึมของน้ำ

(ข้อ 10.23.1)

ภาคผนวก

ก.1 การทดสอบ Flame Retardant มาตรฐานสากลที่ใช้คือ IEC 60332 Test on electric cables under fire conditions หรือมาตรฐานอื่น ๆ ที่เทียบเท่ามาตรฐานนี้

ก.2 การทดสอบ Gases Evolved during combustion (halogen free) มาตรฐานสากลที่ใช้คือ IEC 60754 Test on gas evolved during combustion of electric cables หรือมาตรฐานอื่น ๆ ที่เทียบเท่ามาตรฐานนี้

ก.3 การทดสอบ Low Smoke มาตรฐานสากลที่ใช้คือ IEC 61034 Measurement of smoke density of cables burning under defined condition หรือมาตรฐานอื่น ๆ ที่เทียบเท่ามาตรฐานนี้